نموذج ترخيص

أنا الطالب : سوزان عماد محمد حلوزة أمنح الجامعة الأردنية و / أو من تفوضه ترخيصاً غير حصري دون مقابل بنشر و / أو استعمال و / أو استغلال و / أو ترجمة و / أو تصوير و / أو إعادة إنتاج بأي طريقة كانت سواء ورقية و / أو إلكترونية أو غير ذلك رسالة الماجستير / الدكتوراة المقدمة من قبلي وعنوانها.

إشكاليات السببية في الفيزياء الحديثة (دراسة ابستمولوجية)

وذلك لغايات البحث العلمي و/ أو التبادل مع المؤسسات التعليمية والجامعات و/ أو لأي غاية أخرى تراها الجامعة الأردنية مناسبة، وأمنح الجامعة الحق بالترخيص للغير بجميع أو بعض ما رخصته لها.

اسم الطالب: سوزان عماد محمد حلوزة

التوقيع:

التاريخ: ١٤/٥/٢٠١٦

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

إشكاليات السببية في الفيزياء الحديثة (دراسة ابستمولوجية)

إعداد

سوزان عماد طلوزة

المشرف

الأستاذ الدكتور هشام بشاره غصيب

قُدمت هذه الرسالة استكمالا لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في

الفلسفة

تعتمد كلية الدراسات العليا
هذه النسخة من الرسالة
التوقيع.......التاريخ........

كلية الدراسات العليا
الدكتور محمد حبيب

كلية الدراسات العليا

الجامعة الأردنية

نيسان، ٢٠١٨

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

قرار لجنة المناقشة

نوقشت هذه الرسالة (**إشكاليات السببية في الفيزياء الحديثة (دراسة ابستمولوجية)**)
واجيزت بتاريخ 2018/4/25.

أعضاء لجنة المناقشة	**التوقيــــــع**
الأستاذ الدكتور هشام بشارة غصيب، مشرفاً، أستاذ - فيزياء نظرية	....
الدكتور توفيق لويس شومر، عضواً أستاذ مشارك- فلسفة فيزياء	....
الدكتور ضرار بني ياسين عضواً أستاذ مساعد - فكر عربي	....
الأستاذ الدكتور نهاد عبد الرؤوف يوسف عضواً، أستاذ - فيزياء (جامعة الأميرة سمية)	....



تعتمد كلية الدراسات ال
هذه النسخة من الر
التوقيع.......التاريخ
كلية الدراسات العليا
الدكتور محمد حبيب

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الإهداء

إلى أستاذي الدكتور هشام غصيب

إلى أستاذتي في قسم الفلسفة

إلى والداي العزيزان

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

شكر وتقدير

أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الدكتور هشام غصيب، على عنايته الأكاديمية الكريمة بهذه الرسالة، تصويبا وتوجيها وتنقيحا، كما أتقدم بين يديه بالشكر امتنانا على ما قدمه لي من معرفة طوال فترة إشرافه.

كما أتقدم بوافر الشكر لأساتذتي في قسم الفلسفة لما قدموه لي طيلة مسيرتي الأكاديمية في دراسة الفلسفة، و لأساتذتي أعضاء لجنة المناقشة، لكونهم جزءا من لجنة المناقشة.

لم تكن لهذه الرسالة أن تكتمل لولا الدعم والرعاية التي حظيت بها من عائلتي، فلهم المحبة والشكر.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

فهرس المحتويات

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

إشكاليات السببية في الفيزياء الحديثة (دراسة ابستمولوجية)

إعداد

سوزان عماد طلوزة

المشرف

الأستاذ الدكتور هشام بشاره غصيب

الملخص

تهدف هذه الرسالة إلى دراسة مبدأ السببية وإشكالاته كما تبلّر في النظرية الفيزيائية الحديثة، انطلاقا من إسحاق نيوتن. فهي تعد نظرية نيوتن في الحركة والجاذبية منصة انطلاق النظرية الفيزيائية الحديثة. وتؤكد هذه الدراسة على أن مبدأ السببية يكتسب معناه ويتحدد إجرائيا من النظرية الفيزيائية المحددة، لذلك تعكف الرسالة على دراسة البناء الفكري للنظرية الفيزيائية الحديثة في مراحلها المختلفة. فتدرس دراسة فلسفية البناء الفكري لكل من: ميكانيكا نيوتن، الفيزياء الكلاسيكية، نظرية النسبية الخاصة، نظرية النسبية العامة، بما في ذلك نظرية الثقوب السوداء ونظرية الكون، نظرية الكوانتم. وتبين كيف نشأت كلا من هذه النظريات ومبادئها ونتائجها. ثم تبين صورة مبدأ السببية التي تنطوي عليها النظرية. مركزة على إشكالات هذه الصورة، وكيفية حل هذه الإشكالات في التطورات اللاحقة. وتميل هذه الدراسة إلى التأكيد على أن مبدأ السببية يدخل في النظرية الفيزيائية، بوصفه شرط أساسي لأي نظرية فيزيائية، وأن مبدأ السببية في الفيزياء لا يمكن أن يفهم بمعزل عن النظرية الفيزيائية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المقدمة

إذا استعرضنا تاريخ كل من الخبرة والمعرفة الإنسانيتين في مراحلهما المختلفة، يتضح لنا محورية مفهوم السببية في كل منهما. فالسببية تدخل جوهريا في ممارساتنا اليومية وتفكيرنا اليومي، بصدد الظاهرات والأحداث والأشياء التي نتفاعل معها. وهذا ينطبق على الإنسان البدائي والانسان المعاصر على حدٍّ سواء. فلا يستطيع الانسان أن يمارس حياته العملية من دون أفكار وافتراضات تتعلق بالسببية. وكذلك الحال بالنسبة إلى المعرفة العلمية. فالسببية تدخل في صلب هذه المعرفة. ومن الصعب وربما من المستحيل تصور معرفة من دون العلائق السببية. وقد حاول الفلاسفة على مر العصور الإنطلاق من الخبرة اليومية ومن المعرفة السائدة من أجل استيعاب مغزى مفهوم السببية وجذوره وأصوله وأسسه، أي حاولوا التأسيس فلسفيا لهذا المفهوم الضروري. ولسنا معنيين في هذه الإطروحة أن نستعرض محاولات الفلاسفة تلك برغم أهمية ذلك. لكننا معنيون هنا بدراسة البناء الفكري للنظرية الفيزيائية الحديثة، إبتداءً من نيوتن وحتى عصرنا الحالي، دراسة فلسفية تهدف إلى استنباط معنى السببية وإشكالاتها في النظرية الفيزيائية في مراحلها المختلفة، أي سنحاول أن نستدل على مفهوم السببية وأشكالاته، والكيفية التي تطور بها وحلت إشكالاته، في سياق تطور النظرية الفيزيائية نفسها. ولبيان أهمية هذه الدراسة، لنسلط الضوء على ثلاثة نماذج فلسفية من القرن الثامن عشر الميلادي. والنموذج الأول هو الطريقة التي نظر بها الفيلسوف الألماني ليبنتز Gottfried Leibnizإلى السببية. إذ رأى ليبنتز أن السببية هي مبدأ عقلي ضروري، وأداة معرفية ضرورية من أجل إنتاج معرفة، بصدد المطلقات (الله، الروح، الخلود، جوهر الوجود). ويصوغ ليبنتز مبدأ السببية في كتابه المونادولوجيا كما يلي: " لايمكن إعتبار أي أمر صادقا او موجودا، أو أن يكون تعبير صادقا دون أن يوجد سبب كافٍ له، ليكون هذا الأمر على ما هو عليه ولا على خلاف ما هو عليه. ولو أننا في أغلب الأحيان لا نستطيع أن نعرف هذه الأسباب "[1]. ويعتبر ليبنتز أن مبدأ السبب الكافي مبدأ ميتافيزيقي ومنطقي في ذات الآن، فهو ميتافيزيقي. لكونه صادرا عن الحكمة الإلهية. فالسبب الكافي عند ليبنتز أساسي للإختيار الإلهي، الذي تمخض عنه وجود العالم. فالعالم قبل أن يصبح موجودا بالفعل كان مجرد إمكانية من بين سلسلة من الأنساق المتعادلة في إمكانية الوجود، ووقع الإختيار على عالمنا هذا لأنه يتمتع بقدر من الكمال أكثر من غيره؛ لأنه لو كانت كل العوالم متساوية في الخير والقبح لما كان هناك سبب إنطلاقا منه يخلق الله هذا العالم او ذاك. فحسب ليبنتز تكون كل العوالم الممكنة متضمنة في الجوهر الأسمى (الله). وهذا الجوهر هو مصدر كل

[1] ليبنتز، غوتفريد (1956)، **المونادولوجيا: أو مبادئ الفلسفة**، ترجمة: ألبير نصري نادر، بيروت: المنظمة العربية للترجمة، ط1، ص63.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الموجودات بلا استثناء. وبما أنه يوجد عدد لامتناه من العوالم الممكنة في فكر الله، وبما أنه أيضا لايمكن أن يوجد أكثر من عالم واحد، فلا بد من سبب كاف يحدده إختيار الله لعالم واحد ممكن من بين كل العوالم الممكنة. وهو منطقي لاستناده على القضية المنطقية التي تقول إن المحمول متضمن في فكرة الموضوع.

أما النموذج الثاني فقد مثله الفيلسوف الامبريقي هيوم David Hum. فارتكازا إلى إمبريقيته فقد نفى الضرورة المعرفية لمبدأ السببية وعده مجرد مبدأ حياتي عملي ضروري للحياة وليس للمعرفة. فهو يقول "إن الأسباب والمسببات لاتكشف بالعقل بل بالخبرة"[1]، وذلك بحكم العادة والتكرار. ففكرة السبب والمسبب مستمدة من التجربة التي تجابهنا بموضوعات دائمة الترابط بعضها مع بعض، بحيث تنشئ فينا عادة ملاحظتها في تلك العلاقة [2]. فعندما ننظر إلى الأشياء الخارجية ونقدر العمليات السببية، لانكون قادرين في لحظة منفردة على أن نكشف أي قوة أو رابطة ضرورية، أي صفة تربط المعلول بالعلة وتجعل احداهما نتيجة لا مناص عنها للأخر. إلا أن تكرار نوع معين من الظواهر يدفع الذهن بالعادة إلى توقع تابعه المعتاد، وإلى الإعتقاد بأنه سوف يوجد. وفي هذا الصدد يقول هيوم " أجد أن ظهور واحد من الموضوعات يضطر العقل بالعادة أن يهتم بتابعها المعتاد. وسيهتم به اهتماما كبيرا من حيث علاقته بالموضوع الأول، وهذا الأثر أو الاضطرار هو الذي يقدم لي فكرة الضرورة"[3]. إذاً فالعلاقة السببية وفقا لهيوم تتكون عندنا بحكم العادة التي تتشكل لدينا من اطراد الارتباط بين الحادثة الأولى والحادثة الثانية، اطرادا يجعلنا إذا ما وقعت الحادثة الاولى نتوقع حدوث الثانية، ودون أن تكون هناك ضرورة عقلية تقتضي ذلك. فالتجربة وحدها هي التي تدلنا على ذلك. فالحادثة (السبب) مستقلة عن الحادثة (النتيجة)، وتحليل احداهما لا يدل على الآخر. فلو أن كرة من كرات البلياردو تحركت وصدمت كرة أخرى لحركتها. فحركة الكرة الثانية حادث قائم بذاته بالنسبة إلى حركة الكرة الأولى. وليس هناك ما يشير في أي من الحركتين إلى علامة تشير إلى ضرورة وجود الحركة الأخرى. إلا أن الخبرة الحسية السابقة هي التي تعلمنا بهذا التتابع بين الحركتين.

أما كانط Immanuel Kant فقد تخطى ليبنتز وهيوم كليهما، باعتباره مبدأ السببية مبدأ عقلياً ضرورياً لإنتاج المعرفة العلمية بصدد العالم المحسوس، ونفى أن يكون أداة لإنتاج معرفة بصدد

[1] هيوم، ديفيد (2008)، **مبحث في الفاهمة البشرية**، ترجمة: موسى وهبه، لبنان، دار الفارابي، ط1، ص 84- 52.
[2] Hume, Dived (1946), **A Treatise Of Human Nature**, L.A. Selby-Bigge,N.A, oxford, 1Ed, XI p 125 .
[3] Hume, Dived (1946), **A Treatise Of Human Nature**, L.A. Selby-Bigge, N.A, oxford, 1Ed, XI p 156.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المطلقات. ولما عده عقليا في جوهره، فقد عده ضروريا أيضا، وبنى فلسفته كلها لكي يؤسس لهذه النظرة للسببية. لكن كانط ارتكز على نظرية نيوتن في شكلها الأول والتي نعدها اليوم قاصرة في ضوء التطورات الهائلة التي حصلت في النظرية الفيزيائية مذاك.

وهنا لابد من الإشارة إلى التطورات الكبيرة، التي حصلت في الفلسفة في نظرتها إلى مبدأ السببية في القرن العشرين، وبداية القرن الواحد العشرون. لكننا لن نتطرق إليها في هذه الدراسة، وإنما سنركز على النظرية الفيزيائية نفسها، ونحاول أن ندرس بناءها الفكري، دراسة فلسفية معمقة تهدف إلى تحديد معنى السببية وإشكالاتها وتناقضاتها في النظرية الفيزيائية، عبر مراحلها المختلفة. وهذا سيفيدنا في دراسات قادمة لكي نصنف الدراسات الفلسفية المختلفة لمبدأ السببية ولكي نبلّر الأحكام بصدد هذه التصورات. فهذا التحليل الذي سنورده في هذه الاطروحة سيشكل معيارا للحكم على التصورات الفلسفية المختلفة. وبرغم احترامنا الكبير لمحاولة كانت تخطي الخبرة اليومية والميتافيزيقا صوب النظرية الفيزيائية السائدة في عصره، إلا أننا نرى أن التطورات الهائلة التي حصلت في النظرية الفيزيائية منذ وفاته، توجب علينا أن نعيد النظر في تصوره، و تحديث هذا التصور إنطلاقا من هذه التطورات الكبيرة. فما نعرفه اليوم من فيزياء نظرية يتخطى كثيرا ما ذهب إليه كانط، برغم رؤيته الفلسفية الثاقبة التي لاتضاهى.

ولسنا معنيين في هذه الاطروحة بدراسة الطبيعة ما قبل نيوتن Isaac Newton ، حيث إننا نعتبر نيوتن مؤسس النظرية الفيزيائية الحديثة. فمنطلقنا سيكون نيوتن تحديدا. ولن نتطرق إلى السببية في الفلسفة الإغريقية ولا إلى السببية في فلسفة العصر الوسيط. ونؤكد على أن اهتمامنا سينصب على النظرية الفيزيائية الحديثة التي ابتدأت بنيوتن، وتخطته صوب ماكسويل James Maxwell وآينشتاين Albert Einstein وبور Niels Bohr وهايزنبرغ Werner Heisenberg وفاينمان Richard Feynman و مازالت تتطور وتغذي الحضارة العالمية.

ومن دراسة النظرية القديمة والنظريات الحديثة في دراسة الطبيعة، يتضح لنا أن مبدأ السببية ملازم لكل نظرية معرفية، وبالذات فهو ملازم لكل نظرية فيزيائية حديثة. فنجد من الصعوبة بمكان تصور إمكانية وضع نظرية فيزيائية رياضية من دون أن تنطوي على مبدأ السببية. فيبدو لنا أن مبدأ السببية هو شرط أساسي وضروري من شروط بناء النظريات الفيزيائية المريّضة. ونؤكد أيضا هنا أن لكل نظرية فيزيائية تصورها لمبدأ السببية، وأن معنى مبدأ السببية تحدده النظرية نفسها. و سنبين ذلك في كل نظرية من النظريات التي سنتناولها. ويمكن القول إن مبدأ السببية ليس له معنى خارج إطار مفاهمي ما، سواء أكان هذا المعنى أسطوريا أم فلسفيا أم فيزيائيا أم علميا. وكمثال على ذلك، فهناك

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

فرق كبير بين معنى السببية لدى أرسطو Aristotle كما نبعت من الميتافيزيقا الأرسطية، وبين مبدأ السببية الكامن في ميكانيكا نيوتن. و سنبين ذلك تفصيليا في الفصول القادمة.

وفي الفصل الأول سنفصل البناء الفكري لميكانيكا نيوتن، كما أسسها نيوتن و كما طورها رياضيو أوروبا وفرنسا تحديدا في القرن الثامن عشر. وسنستخلص من هذا البناء معنى مبدأ السببية فيها وإشكالاته. وسنقارن هذا التصور ببعض التصورات القديمة وبما نستنبطه من الخبرة اليومية، التي تستلزم التعاقب الزمني والتجاور المكاني. ثم سنبين كيف أُقيم صرح الفيزياء الكلاسيكية على قاعدة ميكانيكا نيوتن. وسنركز هنا على مفهوم المجال الكهرمغناطيسي الذي صاغه فاراداي Michael Faraday وماكسويل، وتبعاته على مفهوم السببية. و سنشير إلى بعض التناقضات التي بدأت تتبدى في النظرية الفيزيائية في نهاية القرن التاسع عشر.

وفي الفصل الثاني سنبين كيف قادت تناقضات الفيزياء الكلاسيكية إلى ثورة النسبية الخاصة، التي صاغها آينشتاين عام 1905. ثم سنشرح البناء الفكري لنظرية النسبية الخاصة ومعنى مفهوم السببية فيها، والكيفية التي تغلبت بها على بعض إشكالات السببية في الفيزياء الكلاسيكية. لكننا سنشير أيضا إلى إشكالات جديدة برزت في النسبية الخاصة تحديدا وكيف عالجتها هذه النظرية.

وفي الفصل الثالث سنبين كيف قادت التناقضات بين نظرية النسبية الخاصة ونظرية نيوتن في الجاذبية والقوى القصورية إلى نظرية النسبية العامة عام 1915. و سنشرح البناء الفكري لنظرية النسبية العامة و سنركز على الفكرة الثورية في أساسها، والتي تتمثل في اعتبار الزمكان space timeمجالا ماديا يتفاعل مع المكونات المادية الأخرى ولا يطيع هندسة إقليدس Euclid، وإنما تتغير خصائصه الهندسية من نقطة زمكانية إلى أخرى، وفق ما يسمى الهندسة التفاضلية التي أسسها ريمانBernhard Riemann في منتصف القرن التاسع عشر. وسنبين معنى مبدأ السببية في النسبية العامة، وكيف حلت إشكالات السببية الكلاسيكية حلا كاملا. لكننا أيضا سنبرز إشكالات السببية في النسبية العامة في ضوء الثقوب السوداء ونظرية الكون النسبية.

وفي الفصل الرابع سنتناول نظرية الكوانتم ونبين التناقضات النظرية والتجريبية في الفيزياء الكلاسيكية، والتي قادت إلى بناء هذه النظرية الجديدة. و سنركز بصورة خاصة على ما يسمى تأويل كوبنهاجن لهذه النظرية، وهو تأويل مثقل بالإشكالات الحادة فيما يتعلق بالسببية. فالسببية وفق هذا التأويل هي سببية إحصائية احتمالية وليست سببية محكمة مطلقة. كذلك فإن نظرية الكوانتم ترد الإعتبار إلى بعض إشكالات السببية التي أثارتها نظرية نيوتن في الجاذبية. وبصورة خاصة فإنها

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ترد الإعتبار إلى مفهوم التأثير اللحظي عن بعد. ولن نقدم حلولا لهذه الاشكالات لأن الفيزياء الحديثة لما تتمكن من إيجاد حلول لها.

وسننهي هذه الاطروحة بخاتمة مفصلة نبين فيها المعالم الرئيسية لفصول الأطروحة، بالإضافة إلى النتائج الأساسية التي توصلنا إليها بصدد مبدأ السببية وإشكالاته في النظرية الفيزيائية الحديثة. ثم سنتطرق بصورة مختصرة إلى بعض التطورات اللاحقة في النظرية الفيزيائية والتي حملت معها أفكارا وإشكالات جديدة بصدد مبدأ السببية، وبصورة خاصة نظرية الجاذبية الكوانتمية، وبعض المحاولات لتخليص النظرية الفيزيائية من مفهوم الزمان ومن ثم من مفهوم السببية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الأول

ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية

نشوء ميكانيكا نيوتن:

جاءت ميكانيكا نيوتن تتويجا لما يسمى الثورة العلمية الكبرى 1543-1687، تلك الثورة التي قوضت أركان فيزياء أرسطو Aristotle وبطلميوس Ptolemy ، وأقامت على أنقاضها قواعد العلم الحديث. وقد انطلقت شرارة هذه الثورة من كتاب العالم البولندي كوبرنيكوس Copernicus "حول دوران الأفلاك السماوية"، الذي نشره عام 1543 وهو على فراش الموت، والذي وضع فيه إنموذجا جديدا للكون يتخذ من الشمس مركزا له بدلا من الأرض، وتتحرك الأرض فيه حول الشمس وحول نفسها أسوة بالكواكب الاخرى[1]. ولم يكتف كوبرنيكوس بطرح فكرة مركزية الشمس وحركة الأرض، وإنما وضع نظاما رياضيا شاملا للمجموعة الشمسية وللكون ينافس نظام بطلميوس الفلكي[2]. فكان أول بديلٍ شامل لنظام بطلميوس في التاريخ. وفيما عدّ بطلميوس الأرض مركزا للكون وأكد على ثبات الارض، فإن كوبرنيكوس عدّ الشمس مركز الكون، وحرك الأرض حول نفسها وحول الشمس، مناقضا بذلك ليس نظام بطلميوس وحده، وإنما فيزياء أرسطو برمتها. لقد وضع كوبرنيكوس البديل لكنه لم يبرهن، لا من قريب ولا من بعيد، على بطلان بطلميوس وأرسطو. وترك تلك المهمة للعلماء الذين جاءوا بعده. إذ استطاع الفلكي الدنماركي تايكو براهي Tyche Brahe أن يبرهن رصديا على بطلان فكرة أرسطو بوجود أفلاكٍ بلورية أثيرية تحمل الكواكب وتحركها، كما أثبت بطلان فكرة أرسطو أن السماوات لا تتغير[3]. وانطلق الفلكلي الألماني يوهانس كبلر Johannes Kepler من هذين الإكتشافين لكي يضع أنموذج كوبرنيكوس على أُسسٍ علمية صارمة. إذ نظر إلى المجموعة الشمسية على أنها نظام فيزيائي تتفاعل أجرامه معا عبر قوة تؤثر لحظيا عن بعد، أي إنه وضع تصورا أوليا لقوة الجاذبية على الصعيد الكوني. وقاده ذلك إلى اكتشاف القوانين الدقيقة لحركة الكواكب حول الشمس وحركة القمر حول الأرض. وبين أن الكواكب تدور في مدارات إهليليجية ، وليس في مدارات دائرية، كما كان يظن سابقا. بذلك دمر كبلر علم الفلك القديم، وأقام على أنقاضه قاعدة علم الفلك الجديد.

[1] وولف، فريد (1994)، **القفزة الكمومية**، ترجمة أدهم السمان، دمشق: دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، ط1، ص 38 .
[2] غصيب، هشام (2018)، **العقل والمنهج في الثورة العلمية الكبرى**، المانيا: المركز الدولي للتربية الابتكارية، ط1، ص25.
[3] غصيب، هشام (2018)، **العقل والمنهج في الثورة العلمية الكبرى**، المانيا: المركز الدولي للتربية الابتكارية، ط1، ص36.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ويعود الفضل الأكبر في تحطيم نظرية أرسطو في الحركة والمادة إلى الفيزيائي الإيطالي غاليليو غاليلي Galileo Galilei، الذي أثبت بطلان نظرية أرسطو في حركة الأجسام، وبالذات في حركة السقوط الحر على سطح الارض، وحركة القذائف. فدمر بذلك فيزياء أرسطو برمتها، ووضع على أنقاضها المبادئ الأولى للميكانيكا الجديدة القائمة على المنهج العلمي الحديث[1]. ولا ننسى هنا دور ديكارت Rene Descartes في بناء الميكانيكا الجديدة، إذ إنه وضع أول تصور مادي ميكانيكي شامل للكون يطيع قوانين ميكانيكية بحتة.

وتوجت هذه الإسهامات في النظام الميكانيكي، الذي وضعه نيوتن وفصل معالمه في كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية 1687. وقد شكلت ميكانيكا نيوتن نظاما رياضيا فيزيائيا محكما ومترابطا وكونيا ينطبق في كل مكان وزمان على جميع النظم الفيزيائية. ويمكن اعتباره ماكنة نظرية لإنتاج المعرفة بصدد الطبيعة. وقد بث فيه نيوتن قوة رياضية غير مسبوقة بإدخال علم الحسبان Calculus في قلبه، علما أن نيوتن هو الذي أبتكر هذا العلم جنبا إلى جنب مع الفيلسوف الألماني ليبنتز.

وقد بين نيوتن في النظام الميكانيكي الذي وضعه أن هناك قوانين كونية شاملة تتمظهر على سطح الأرض على شكل قوانين غاليليو، و تتمظهر على صعيد الكواكب والأقمار والمذنبات وغيرها من الأجرام السماوية على صورة قوانين كبلر. وبذلك وحد نيوتن بين قوانين الحركة الأرضية (قوانين غاليليو) وقوانين الحركة السماوية (قوانين كبلر) وأزال التناقضات الظاهرية بينها[2] . وكانت هناك نواقص في ميكانيكا نيوتن استطاع أن يسدها رياضيو أوروبا وفرنسا في القرن الثامن عشر، أمثال: دالمبير Jean D'Alembert، وموبرتيه Maupertuis، واويلر Leonhard Euler ، ولاغرانج Lagrange، ولابلاس Pierre Laplace ، وهاملتون William Hamilton .

[1] وولف، فريد (1994)، **القفزة الكمومية**، ترجمة أدهم السمان، دمشق: دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر، ط1، ص62.
[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، الأردن: الجمعية العلمية الملكية، ط1، ص24.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

التصور الكوني الذي تفترضه ميكانيكا نيوتن:

لقد دشن نيوتن تصورا للكون قائما على مفهومي المكان والزمان المطلقين، اللذين يشكلان الخلفية الواسعة التي تتحرك فيها جميع الاشياء وبالنسبة إليها. فافترض من جهة، أن المكان وعاء إقليدي لانهائي الإمتداد ومطلق، بمعنى أن خصائصه الهندسية أزلية وأبدية ولا تتأثر بالمادة والأحداث المادية التي يحتويها. فلا يمكن تصور المادة من دون مكان، لكن يمكن تصور المكان من دون مادة. فالمكان قائم في ذاته ويطيع هندسة إقليدس، أي تلك الهندسة المحكمة التي وضعها إقليدس الرياضي اليوناني حوالي عام 300 قبل الميلاد. ويعرف نيوتن المكان كما يلي" بدون النظر إلى أي شيء خارجي، فإن المكان المطلق في طبيعته الذاتية يبقى دائما متشابها وثابتا"[1]. يركز تعريف نيوتن السابق على فكرة استقلال المكان وثباته، بينما يشير بصورة ضمنية إلى مفهوم تجانس المكان. وقد استند نيوتن على الفلسفة الذرية اليونانية ممثلة لوقيبوس Leucipus وديموقريطس Democritus ، في وضع تصوره الكلاسيكي عن المكان المطلق، حيث عرف الذريون المادة بأنها الملاء (أي ما يشغل مكانا)، في مقابل الخلاء (أي المكان الفارغ). ومن ثم أمكنهم هذا من التمييز بين المكان الثابت ومحتواه الفيزيائي ذي الطبيعة المتغيرة. فالمادة، رغم أنها قابلة للتغير، وثابتة من الناحية الكيفية، إلا أنها بصورة ما عرضة للتغير؛ لأن أجزاءها تعج بالحركة. وهذا التغير لا يؤثر على جوهر الجزيئات، وإنما على المسافة بينها. فالمواضع تظل واحدة، وما تشغله يختلف من زمن لآخر. فالمكان لا يحتاج إلى المادة ليوجد، بينما تحتاج المادة إلى المكان في وجودها.

ومن جهة أخرى افترض نيوتن أن الزمان أيضا تتابع لانهائي ومطلق يمتد من الأزل إلى الأبد، ولا يتأثر بما يدور فيه من أحداث مادية. فلا يمكن أن توجد المادة من دون الزمان، لكن يمكن للزمان أن يوجد من دون مادة، فالزمان كيان قائم في ذاته. وقد صاغ نيوتن خاصية استقلال الزمن في كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية كما يلي: " إن الزمان المطلق والرياضي، بذاته وطبيعته، ينتج بإطراد بدون النظر لاي شيء خارجي"[2] . إنه أيضا ما يسمى بالديمومة، فالزمن النسبي والظاهر إنما هو قياس محسوس و خارجي للزمن المطلق (الديمومة). وهو يقدر بحركات الأجسام.

يشير تعريف نيوتن إلى أن الزمن في اطراد مستمر بغض النظر عما إذا كان المحتوى الفيزيائي متغيرا أم في حالة ثبات. والزمن في طبيعته الذاتية فارغ ويملأ فقط بطريقة ثانوية أو إضافية

---

[1] Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural Philosophy**, Daniel Edee, New York, 1Ed, Pp77-78.

[2] Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural Philosophy**, Daniel Edee, New York, 1Ed, p77.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

بالتغيرات، وهذه التغيرات تحدث في الزمن، ولكنها ليست الزمن ذاته، فهو من طبيعة مغايرة. فكما أن المكان لا يتضمن بالضرورة مادة، كذلك نجد أن الزمن لايتضمن بالضرورة الحركة أو التغير بصفة عامة. وقد استند نيوتن في وضع تصوره عن الزمن على ما قاله أستاذه إسحق بارو Isaac Barrow. فهما يقسمان الزمن بذات الطريقة. فهناك الزمن المطلق، وهو الزمان الحقيقي أو الرياضي القائم بذاته والمستقل بطبيعته، في غير نسبة إلى شيء خارجي، ويسيل باطراد. وهذا الزمن غير مرتبط بالحركة على عكس الزمن النسبي، فهذا النوع من الزمن ظاهري، وهو مقياس حسي خارجي لأية مدة بواسطة الحركة، وهو الزمان المستعمل في الحياة العادية على هيئة ساعات وايام وشهور وأعوام. وقد يكون دقيقا، وقد لايكون متساويا مطردا، وهذا الزمن الثاني يستخدم في الفلك مقياسا لحركة الأجرام السماوية؛ لأن زمان الفلكيين مرتبط بالحركة بينما الزمان المطلق غير مرتبط بالحركة[1].

إن خاصية استقلال محتوى الزمن تأتي كنتيجة مباشرة لتجانسه، وهذا الزمن يمتاز بأنه لا نهائي ومتصل. وفيما يتعلق بلانهائية الزمن، فإنها تتضمن غياب أي لحظة مؤثرة مؤقتة كانت في الماضي أو أي لحظة في المستقبل؛ لأن مثل هذه اللحظات تفترض خاصية مميزة تجعلها غير متسقة مع تجانس الزمن. ويترتب على هذا أن تصور اللحظة الأولية التي ليس لها سابق، أو أن الغاية النهائية التي ليس لها لاحق، لا يمكن التفكير فيها.

ويعج المكان في ميكانيكا نيوتن بذرات مادية تتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان، وتتفاعل معا، إما عبر التصادم والترابط، وإما عن طريق التفاعل الجاذبي عن بعد. وقد تصوره نيوتن على أنه قوة لحظية بين الجسيمات. فالجاذبية لا تنتقل بصورة محدودة من مكان إلى آخر، وإنما تنتقل لحظيا بين الأجسام والجسيمات. وقد أكد نيوتن على مفهوم الخلاء الذي أنكرته فيزياء أرسطو. فالجسيمات المادية تتحرك في الخلاء. وتتشكل ظاهرات الكون برمته من تفاعل هذه الجسيمات وترابطاتها المتنوعة. والقوة هي مقياس التفاعلات بين الجسيمات. وهذه التفاعلات هي سبب الظواهر الطبيعية والتغيرات الكيفية في الحالات الحركية للجسيمات والأحداث. وليس هناك مصادر أخرى للتغيرات. فالتفاعلات هي الأسباب. ويمكن تحديد موضع الجسيم في كل لحظة عن طريق معرفة تسارعه وموضعه الابتدائي وسرعته الابتدائية. والذي يحدد التسارع هو مجموع القوة المؤثرة عليه. هذا هو التصور الكوني الكامن في ميكانيكا نيوتن، وهو تصور مادي ميكانيكي. فالسببية هنا ليست علاقة بين الانطباعات الحسية أو مكونات الخبرة الذاتية كما رأى الإمبريقيون انذاك، وإنما هي علاقة بين الكيانات المادية، وسوف نرى ذلك في بند لاحق.

[1] بدوي، عبدالرحمن (1973)، **الزمان الوجودي**، لبنان، دار الثقافة، ط3، ص100.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

نشوء الفيزياء الكلاسيكية:

لا تقتصر الفيزياء الكلاسيكية على نظرية نيوتن في الميكانيكا فقط، ذلك أن ميكانيك نيوتن شكلت قاعدة للصرح الفكري الذي نسميه الفيزياء الكلاسيكية. ونذكر في هذا السياق أن ميكانيك نيوتن لم تكتمل على يدي نيوتن، وإنما اكتملت على أيدي الرياضيين الفرنسيين والسويسريين بصورة خاصة، وعلى أيدي الفلاسفة الماديين الفرنسيين. وقد طورها وأزال تناقضاتها رياضيون عظماء مثل: موبرتيه، ودلمبير، ولاغرانج، وهاملتون. كما إن أنطولوجيا ميكانيك نيوتن بلّرها فلاسفة فرنسا الماديون، مثل: هولباخPaul Holbach ، لامتري La Mettrie، وديدرو Denis Diderot، وغيرهم. وعلى هذه القاعدة المكتملة، تمكن فيزيائيو القرن التاسع عشر من إقامة علم الضوء وعلم الحرارة (الثرموديناميك) وعلم الكهرباء والمغناطيسية (نظرية المجال الكهرمغناطيسي). وشكلت هذه النظريات في مجموعها ما يسمى الفيزياء الكلاسيكية.

وفي مطلع القرن التاسع عشر، بيّن العالمين الإنجليزي توماس ينغ Thomas Young والعالم الفرنسي فرينل Augustin Fresnel ، أن الضوء عبارة عن أمواج وينتقل كما تنتقل الأمواج، وليس سيلا من الجسيمات الدقيقة، و افترضا أن هذه الأمواج تتحرك في مائع مطلق يملأ المكان برمته أسمياه الأثير، تيمنا بأثير أرسطو وأثير ديكارت. وهكذا أضاف علماء الضوء الأثير مكونا أساسيا في الكون جنبا إلى جنب مع الجسيمات المادية[1]. وفي الثلثين الأخيرين من القرن التاسع عشر، أضاف الفيزيائي الإنجليزي مايكل فراداي والفيزيائي الإسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل مكونا آخر إلى الكون هو المجال الكهرمغناطيسي، وهو امتداد من الطاقة والقوة يملأ المكان برمته، ويؤثر على الجسيمات المشحونة كهربائيا والمغانط ويتولد عنها أيضا. وقد توج هذا العمل في أربع معادلات تفاضلية أخذت تعرف بمعادلات ماكسويل في الكهرمغناطيسية[2]. وقد قامت فيزياء المجال على أساس التوحيد الجذري بين حقليّ الكهرباء والمغناطيسية ضمن ما يسمى المجال الكهرمغناطيسي، الذي جاء حلا شاملا للتناقضات الظاهرية بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي. وقد شكلت نظرية ماكسويل في المجال إطاراً مفهوميا أوسع وأعمق من الإطارين الجسيمي والأثيري في فهم الظاهرات الطبيعية وتفسيرها. وقد قاد شمول هذه النظرية وترابطها المنطقي لاحقا إلى اعتبار المجال مكونا أساسيا من مكونات الوجود المادي على غرار النظام الجسيمي النيوتني.

[1] أومنيس، رولان (2008)، **فلسفة الكوانتم: فهم العلم المعاصر وتأويله**، ترجمة: يمنى الخولي، أحمد باشا، الكويت: عالم المعرفة، ط4300، ص71.

[2] Bohm, David (1957), **Causality and Chance in Modern Physics**, University of Pennsylvania Press Philadelphia, USA, 1Ed, p42.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وقد بينت معادلات ماكسويل الكهرمغناطيسية أن هذا المجال يشكل نظاما متكاملا وقائما في ذاته، وأنه ليس مجرد امتداد للجسيمات المادية. فهو يمكن أن يوجد في المكان والزمان في حال انعدام وجود مصادره الجسيمية من شحنات وتيارات كهربائية. ورغم ارتباط المجال بهذه المصادر الجسيمية، إلا أنه مستقل تماما مثلها. ومعادلات ماكسويل تنطبق على كل المكان. " فهي تعين بنية الحقل الكهرمغناطيسي. فكل المكان مسرح عمل هذه القوانين، وليس فقط، كما كان الحال في قوانين الميكانيكا، النقاط التي توجد فيها مادة وشحنات"[1].

وفي بعض الأحيان، يكون من الصعب القول بأن الجسيمات هي المصدر النهائي للمجالات. إذ يبدو أن المجال ينبع من الجسيمات المادية بقدر ما تنبع هذه الجسيمات من المجال[2]. لقد تبين أن حقلي الكهربائية والمغناطيسية مجرد تجليين مختلفين لجوهر واحد هو المجال الكهرمغناطيسي الذي يشكل جانبا مستقلا من جوانب جوهر الوجود المادي.

وبعد صوغ ماكسويل للمعادلات التي تمثل بنية مجاله الكهرمغاطيسي، اكتشف إمكانية وجود أمواج كهرمغناطيسية (تغيرات دورية موجية للمجال الكهرمغناطيسي في المكان والزمان). وقد بين ماكسويل أن الضوء عبارة عن أمواج كهرمغناطيسية[3]، وأن هذه الأمواج، ومن ثم أن التفاعل الكهرمغناطيسي، ينتقل بسرعة محدودة هي سرعة الضوء في الفراغ. وهذا يناقض مفهوم التأثير اللحظي عن بعد. وقد أستطاع ماكسويل تفسير معظم خصائص الضوء، بما في ذلك الخصائص التي فشل فرينل في تفسيرها، الأمر الذي أقنع علماء ذلك العصر بجذرية المجال الكهرمغناطيسي. وبعد أن صاغ ماكسويل هذه المعادلات التي تفسر المجال، نجد أنه قد تخلص من جميع الصفات اللامادية التي لازمت جاذبية نيوتن. وأكسب ماكسويل المجال مجموعة من الصفات المادية مما جعله نظاما ماديا قائما بذاته. وبهذا يكون ماكسويل قد قضى على التناقض القائم ظاهريا بين الجسيم والمجال، الذي تطور من كونه تناقضا بين الوظيفة والماهية إلى ازدواجية تناحرية بين الجسيم والمجال. إذ إن معظم خصائص المجال الكهرمغناطيسي وصفاته كانت مماثلة للجسيمات المادية النيوتنية، إلا أنها كانت في ذات الآن مناقضة لها في بعض الخصائص الجذرية . وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر، تعامل العلماء مع مفهوم المجال بوصفه أكثر جذرية و أولية من النظام الجسيمي النيوتني. وهكذا تخلصت الفيزياء الكلاسيكية من ثنائية المادية واللامادية على الأقل فيما يتعلق بالظاهرات

---

[1] آينشتاين، البرت، انفلد، ليوبولد (1986)، **تطور الافكار الفيزيائية**، سوريا: منشورات وزارة الثقافة، ط10، ص151.
[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، الأردن: الجمعية العلمية الملكية، ط1، ص27.
[3] آينشتاين، البرت، انفلد، ليوبولد (1986)، **تطور الافكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص155.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المجالية، بينما أبقت على الفصل المطلق بين الآليات الجسيمية والآليات المجالية وحافظت على الجدران المطلقة الفاصلة بينهما[1].

وفيما بعد اكتشف العلماء إشتراك المجال والجسيم في الكثير من القواعد والصفات والكميات الفيزيائية التي تحددهما وتصفهما. فلو أخذنا نظامين ماديين، بحيث يتكون الأول من مجموعة جسيمات نيوتنية متصادمة مع بعضها البعض، والنظام الثاني عبارة عن مجموعة من المجالات الكهرمغناطيسية البحتة (بما في ذلك الأمواج الكهرمغناطيسية كالضوء)، سنجد أنه ثمة سمات دينامية جوهرية مشتركة بين النظامين. فكلاهما يحملان الطاقة من مكان إلى آخر. إذ تنتقل الطاقة عبر الجسيمات الخاضعة لقوانين نيوتن، ويمكن لهذه الطاقة أن تنتقل أيضا عبر الأمواج المجالية الكهرمغناطيسية، التي تخضع لنوع آخر من القوانين، هي قوانين ماكسويل المجالية.

وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر، اكتشف أن المجالات الكهرمغناطيسية تحمل زخما خطيا وزخما زوايا تماما مثل الجسيمات. وقد دل ارتباط هذه الكميات الفيزيائية بالمجالات على أنها صفات مقدارية عامة للوجود المادي في جميع أشكاله. وتنبع هذه الكميات وقوانين حفظها من مبادئ التناسق العامة للمكان والزمان.

ويقودنا ذلك إلى بروز فكرة أن الطاقة قد تكون أكثر أولية وجذرية من الكتلة وغيرها من الكميات الفيزيائية الجسيمية. واعتبر علماء النصف الثاني من القرن التاسع عشر أنه من الممكن، بالاستناد بصورة جذرية إلى الطاقة، اشتقاق الكتلة، فقد اعتبروا أن المجال هو الحقيقة الجوهرية للوجود المادي، وأنه من الممكن اشتقاق هذه الجسيمات المادية وخصائصها وصفاتها وقوانينها من المجالات والقوانين التي تحكمها.[2]

وفي محاولتهم التفريق بين الجسيم والمجال، حاول علماء النصف الثاني من القرن التاسع عشر وضع معيار جوهري دينامي للتفريق بين الجسيم والمجال. ويرتكز هذا المعيار على تمييز المجال بإرجاعه إلى مفهوم الطاقة البحتة، وتمييز الجسيم بالكتلة. و استندوا على قانون حفظ الكتلة الذي ينص على " أن إجمالي الكتلة في نظام مادي مغلق يظل ثابتا برغم ما يعتري النظام داخليا من تغيرات وتفاعلات تؤثر على طاقة مكوناتها وحركاتها "[3]. ولا تمس هذه التفاعلات والتأثيرات المتبادلة بين الجسيمات والمجالات جوهر الجسيم ولا تحدث فيه تغييرا أبدا، بل إن كل ما تفعله هو التأثير فقط في حركته العرضية. وبناء على ذلك تقتصر العلاقة بين الجسيم والمجال على الحركة

[1] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص28.
[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص33.
[3] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص34.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

والحالات الديناميـة فقط، ولا تتعلق مطلقا بالجوهر. فالارتباط عرضي بين حقلي الجسيمات والمجالات.

وفي منتصف القرن التاسع عشر، تبين للعالمين ماكس أبراهام Max Abraham ولورنتز، أن محاولة وضع معيار جوهري دينامي بين الجسيم والمجال قد باءت بالفشل. فقد اكتشفا أن المجال الكهرمغناطيسي يملك قصورا ذاتيا، وأنه يتحرك كما لو انه يملك كتلة قصورية نيوتنية، تتناسب طرديا مع مربع شحنة مصدره وعكسيا مع نصف قطره. وهذا يعني أن الزخم الخطي للمجال يتناسب طرديا مع سرعة المصدر (عندما تكون السرعة أقل بكثير من سرعة الضوء)، وأنه من الممكن اعتبار ثابت التناسب كتلة المجال. وقاد هذا العلماء لاحقا إلى الشك بتقسيم الوجود المادي إلى مملكتي الكتلة والطاقة. وفي نهاية القرن التاسع عشر، تمكن الفيزيائيون النظريون من تطبيق ميكانيكا لاغرانج وهاملتون على الانظمة المجالية، وذلك بعد صياغتهم لقوانين المجال الكهرمغناطيسي (قوانين ماكسويل)، وفقا للشكل اللاغرانجي الهاملتوني، وذلك عبر اعتبار النظام المجالي نظاما ماديا ذا درجات حرية لامتناهية العدد، بالاستناد إلى اتصالية هذه الجهود والدوال المجالية في المكان والزمان[1].

ورغم كل المحاولات، التي حاولت التوفيق بين الجسيم والمجال (فهما مماثلان لبعضهما من حيث امتلاك كليهما للطاقة والزخم الخطي و الزخم الزاوي والقصور الذاتي، وهما يخضعان لطريقة الوصف اللاغرانجية ولمبدأ هاملتون في الديناميكا)، فثمة ما يفرق بين الجسيم والمجال بصورة مطلقة. فبينما يتصف المجال بالاتصالية، التي تعتمد على جميع النقط المكانية في الحيز الذي ينتشر فيه المجال في آن واحد، نجد أن الجسيم يتصف بالانفصالية حيث يعتمد على نقطة واحدة في المكان في لحظة زمنية معينة. وفيما يتم تحديد الحالة الدينامية للجسيم بدلالة موضعه وسرعته (أي موضعيا)، يتم تحديد المجال بدلالة دوال جبرية متصلة، تمتد على طول المكان وعرضه وذلك بالاستناد إلى طبيعته الممتدة. ورغم الاختلاف بين مفهوم المجال ومفهوم الجسيم، نجد أن كليهما يخضع لقانون حفظ الطاقة، فهو الرابط بينهما. ومع مفهوم المجال تمكن ماكسويل من تقديم أنموذج أكثر معقولية للسببية من أنموذج نيوتن السببي. فالمجال الماكسويلي ينتقل من نقطة مكانية إلى أخرى بسرعة الضوء، وليس لحظيا كما يفعل التأثير الجاذبي النيوتني[2].

من جهة أخرى بين علماء الحرارة أن الحرارة هي تعبير عن الطاقة الحركية للذرات والجزيئات، واكتشفوا قوانين انتقال الحرارة، وبالذات قانون حفظ الطاقة وقانون الإنتروبي، الذي يمكن أن نسميه

[1] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص34- 35.
[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص36-37.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

قانون الفوضى في الكون، وأفلح بولتسمان Boltzmann في تفسير هذه القوانين على أساس قوانين ميكانيكا نيوتن من جهة والقوانين الاحتمالية الإحصائية من جهة اخرى. ويسمى هذا الصرح الذي تشكل قاعدته ميكانيكا نيوتن ويتكون من نظرية الحرارة ونظرية الضوء ونظرية المجال الكهرمغناطيسي و نظرية الأثير الفيزياء الكلاسيكية (التقليدية). وكما رأينا فإن كون الفيزياء الكلاسيكية مكان مطلق يحتوي على الجسيمات المادية المتفاعلة معا عبر التصادم والتأثير الجاذبي اللحظي عن بعد، وعلى الأثير، وعلى المجال الكهرمغناطيسي. وبالطبع، فقد كانت هذه الصورة تنخرها تناقضات وتباينات مقلقة. إذ لاحظ علماء نهاية القرن التاسع عشر أن هناك تباينات كيفية بين قوانين نيوتن وقوانين ماكسويل وقوانين الحرارة، فتساءل بعضهم: هل تنجسم هذه القوانين منطقيا معا وإلى أي مدى؟ وهل يمكن اختزالها إلى بعضها البعض؟. فحاول رهط من أولئك العلماء أن يستنبطوا قوانين ماكسويل من قوانين نيوتن، واخفقوا في ذلك. ثم بدأ رهط آخر يحاولون اشتقاق ميكانيكا نيوتن من معادلات ماكسويل في الكهرمغناطيسية. وقد تأثر آينشتاين لاحقا بهذا الرهط. ويمكن أن نذكر بعض الأسماء اللامعة في هذا الصدد، مثل لورنتز، وبوانكاريه Henri Poincare، وفين Wien، وهيفسايدHeaviside ، وماكس ابراهام وآخرين، ومن جهة أخرى أفلح ماكسويل، ثم بولتسمان وغبز Gibbs، في تفسير قوانين الثرموديناميك احتماليا وإحصائيا انطلاقا من قوانين نيوتن في الحركة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مبادئ ميكانيكا نيوتن و الفيزياء الكلاسيكية:

كما أسلفنا فإن الفيزياء الكلاسيكية تقوم على قاعدة ميكانيكا نيوتن، وتقوم ميكانيكا نيوتن على المبادئ الآتية:

أولا- القانون الصفر لنيوتن: إن التعبير المقداري الأهم للتفاعلات بين الجسيمات هو مفهوم القوة. فالقوة هي مقياس التفاعل. إنها التجسيد الأكبر للسبب المادي. فميكانيكا نيوتن تُعرف بدقة رياضية مفهوم السبب، أي سبب التغيير وسبب الأحداث. وينص هذا القانون على أن القوة متجه، أي أنه يطيع جبر المتجهات[1].

ثانيا- قانون نيوتن الأول في الحركة: ويمكن تسمية هذا القانون قانون القصور الذاتي. وقد أكتشف هذا القانون غاليليو في سياق تحطيمه فيزياء أرسطو وبناء بذور الميكانيكا الجديدة. وقد أعطاه ديكارت شكله الدقيق، لكن نيوتن بين مغزاه في منظومة الميكانيكا الجديدة. وينبع هذا القانون من التساؤل: في غياب القوة كيف يتحرك الجسيم في المكان والزمان؟ ويعرف الجسيم هنا بوصفه نقطة تحمل كتلة وتتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان. ويأتي هذا القانون إجابة دقيقة لهذا السؤال. فإذا كان مجموع القوى المؤثرة على جسيم تساوي صفرا، فإن الجسيم يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم أو يكون ساكنا، والعكس بالعكس. وبتعبير آخر، "فإن الحالة الطبيعية لحركة الجسيم هي الحركة المنتظمة في خط مستقيم، ويبقى الجسيم في حالة حركته تلك، ما لم تؤثر عليه قوى خارجية تغير من هذه الحالة. واحيانا يسمى هذا المبدأ مبدأ القصور الذاتي" [2].

يقودنا قانون نيوتن هذا إلى تساؤل مضمر في بنيته: بالنسبة إلى أي مرجع إسناد ونظم إحداثيات ينطبق هذا القانون؟ فالنص من دون معنىً ما لم نحدد مراجع الإسناد التي ينطبق القانون فيها. فمرجع الإسناد هنا يدخل جوهريا في تثبيت معاني العناصر الأساسية المكونة لنص القانون. وإذا ما حللنا القانون تبين لنا ان نص القانون يسري فقط بالنسبة إلى مراجع الإسناد القصورية التي تتحرك بسرع ثابتة في خطوط مستقيمة بالنسبة إلى بعضها وإلى مادة الكون[3].

ثالثا- قانون نيوتن الثاني في الحركة: وينبع هذا القانون من التساؤل، إذا لم تكن القوة المؤثرة على الجسيم صفرا، كيف يتحرك الجسيم؟ وفي ضوء القانون الأول فإنه من الواضح أن القوة تولد التغير

---

[1] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر، ط1، ص102.

[2] Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural philosophy**, Daniel Edee, New York, 1Ed, p83.

[3] أنظر غصيب، هشام (1999)، هل نشأ الكون من العدم، مرجع سابق، ص83.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

في السرعة المتجهة، أي تولد التسارع في الجسيم. أي يمكن القول إن القوة هي السبب والتسارع هو النتيجة. فكيف ترتبط القوة رياضيا بالتسارع؟ أي، كيف يرتبط السبب رياضيا بالنتيجة؟ ينص قانون نيوتن الثاني على أن القوة بوصفها متجها تتناسب طرديا مع التسارع بوصفه متجها أيضا. ويسمى ثابت التناسب الكتلة القصورية للجسيم، وهو خاصية ذاتية من خصائص الجسيم ويعبر عن القصور الذاتي فيه، أي أن الكتلة تقاوم التغير في الحالة الحركية للجسيم. من ثم يمكن أن نصوغ قانون نيوتن الثاني بالقول "إن القوة المؤثرة على الجسيم تساوي كتلته مضروبة في تسارعه"[1]. وقد سخر نيوتن هذا القانون ببراعة فائقة في اشتقاق قوانين كبلر في حركة الكواكب حول الشمس، وفي حل الكثير من المسائل الميكانيكية.

رابعا- قانون نيوتن الثالث في الحركة: وينبع هذا القانون من الملاحظة الآتية: إذا كان هناك تفاعل بين جسيمين، فإن كل جسيم يؤثر على الجسيم الآخر بقوة. وتسمى هاتان القوتان الفعل ورد الفعل. فما العلاقة بين الفعل ورد الفعل؟ وينص هذا القانون على "أن الفعل ورد الفعل متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه"[2]. ويمكن أن نصوغ هذا القانون بصورة أخرى أكثر عمومية سنتطرق اليها في المبدأ اللاحق.

خامسا- قانون حفظ الزخم الخطي: يعرف الزخم الخطي بأنه الكتلة مضروبة في السرعة المتجهة. ويمكن صوغ قانون نيوتن الثاني بالقول إن القوة المؤثرة على جسيم تساوي المعدل الزمني لتغير الزخم الخطي للجسيم. فإذا صغناه بهذه الصورة توصلنا إلى أن مجمل الزخم الخطي في نظام ميكانيكي مغلق محفوظ، أي لا يتغير زمنيا. وهو مبدأ أساسي في الفيزياء، يتخطى الفيزياء الكلاسيكية صوب نظرية النسبية ونظرية الكوانتم[3].

سادسا- قانون نيوتن في الجاذبية الكونية: ينص هذا القانون على أن كل جسيم في الكون يؤثر على كل جسيم آخر بقوة الجاذبية. وهذه القوة تؤثر لحظيا بين الجسيمات المادية. وينص القانون على أن القوة التي يؤثر بها جسيم على جسيم آخر جاذبيا تساوي من حيث المقدار ثابتا كونيا مضروبا بكتلتي الجسيمين، ومقسوما على مربع المسافة بينهما. وهذه القوة جاذبة. إذ يجذب كل جسيم الجسيم الآخر

[1] Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural philosophy**, Daniel Edee, New York, 1Ed, p83.

[2] Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural philosophy**, Daniel Edee, New York, 1Ed, Pp83-84.

[3] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص 102.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

صوبه. وقد استطاع نيوتن أن يشتق حركات المجموعة الشمسية برمتها من هذا القانون مقرونا بقوانين الحركة[1].

سابعا- قانون حفظ الطاقة الميكانيكية: استطاع علماء القرن الثامن عشر أن يضيفوا إلى ميكانيكا نيوتن مفهوم الطاقة الميكانيكية، المكون من طاقة الحركة وطاقة الوضع. وتساوي طاقة الحركة نصف الكتلة مضروبة بمربع السرعة، أما طاقة الوضع فهي الطاقة المختزلة في الجسيم نتيجة تأثير القوى عليه. وبينوا أن الطاقة الميكانيكية الكلية في نظام ميكانيكي مغلق محفوظة. وهذا يعني أن طاقة الحركة تتحول باستمرار إلى طاقة وضع والعكس بالعكس. ويعرف هذا القانون بقانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

ثامنا- القانون العام لحفظ الطاقة: في منتصف القرن التاسع عشر، بين علماء الحرارة أن الطاقة بصورة عامة محفوظة في نظام مغلق. وهذا يعني أن الطاقة تأخذ أشكالا متنوعة هي طاقة الحركة، و طاقة الوضع، والطاقة الكيميائية، والطاقة الحرارية، والطاقة الكهربائية، والطاقة المغناطيسية ، والطاقة الضوئية. وتتحول هذه الاشكال إلى بعضها البعض، لكن الطاقة الكلية في نظام مغلق تكون محفوظة. وهذا القانون هو تعميم حراري لقانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

تاسعا- قانون حفظ الزخم الزاوي: هناك كمية مهمة في وصف الحركة الدورانية هي الزخم الزاوي. وقد تبين أن الزخم الزاوي في نظام مغلق تكون محفوظة. ويعبر الزخم الزاوي عن مدى انحراف حركة الجسيم عن الخط المستقيم.

عاشرا- القانون الأول في الثرموديناميك : وهو الشكل الذي يأخذه القانون العام لحفظ الطاقة في النظم الحرارية.

الحادي عشر- القانون الثاني في الثرموديناميك : وينص على أن الحرارة تنتقل تلقائيا، أي من دون قسر خارجي، من الجسم الذي يمتلك درجة حرارة مرتفعة إلى الجسم الذي يمتلك درجة حرارة ادنى[2]، وليس العكس. ويسمى أيضا قانون الإنتروبي. والإنتروبي Entropy هي الكمية التي تقيس درجة العشوائية في النظام الحراري. وينص هذا القانون على أن الإنتروبي تزداد دوما في أي نظام مغلق، بمعنى أن العشوائية تزداد مع الزمن في أي نظام مغلق.

[1] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص90-91.
[2] Lenzen, Victor (1954), **Causality in Natural Science**, Charles C Thomas Publisher, USA, 213Ed. p52.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الثاني عشر- قوانين الكهرمغناطيسية: وتعبر عنها معادلات ماكسويل الأربع، وتتضمن قانون غاوس Gauss للشحنات الكهربائية وقانون غاوس للمغناطيسية، وقانون أمبير Ampere ، الذي يعبر عن العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي الذي يولده، والقانون الرابع هو قانون فراداي في الحث الكهربائي والذي يعطينا مقدار المجال الكهربائي المستحث في دراة كهربائية بنتيجة تغير الفيض المغناطيسي عبر الدارة[1].

يمكن القول إن مبادئ الفيزياء الكلاسيكية عامة وميكانيكا نيوتن خاصة لا تفرق بين مرجع إسناد قصوري وآخر. وقد عرّف نيوتن مرجع الإسناد القصوري بأنه "نظام مادي يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة إلى النجوم الثابتة" [2]. و قد أصر نيوتن على وجود مكان مطلق أو (وسط أثيري مطلق)، يشكل المرجع الطبيعي لكل القوانين والعلائق والظاهرات، رغم أن قوانين الحركة لا تفرق بين هذا المكان المطلق وبين أي مرجع إسناد قصوري آخر، يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة إليه. وتطيع قوانين نيوتن علاقات التحويل الغاليلية عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر.

وقد أصر نيوتن على وجود المكان المطلق، حتى بعد أن أدرك أن سرعة الأجسام لا تكشف عن وجوده. لكنه رأى أن التسارع مطلق ويكشف عن وجود المكان المطلق. وهذا يعني أن قوانين الحركة تمكننا من الاستدلال على التسارع بالنسبة إلى المكان المطلق وقياسه، وإن كانت لا تمكننا من الاستدلال على السرعة بالنسبة إلى المكان المطلق. ويعد وجود التسارع المطلق دليلا على وجود مكان مطلق، وهذا ما دفع نيوتن للإصرار عليه.

وقد استند نيوتن في دعمه لفكرة التسارع المطلق إلى أننا نشعر بالتسارع ولكننا لا نشعر بالسرعة. وسبب عدم شعورنا بدوران الأرض حول نفسها هو صغر تسارع هذا الدوران، رغم أن سرعة الدوران كبيرة. فأي إطار مادي لا يتسارع بالنسبة إلى النجوم الثابتة (مادة الكون) لا نشعر بحركته. لكن ما أن يبدأ بالتسارع بالنسبة إلى مادة الكون حتى نبدأ نشعر بالحركة بصورة واضحة. ونجد الأمر كذلك في خبرتنا اليومية. فنحن لا نشعر بحركة الطائرة التي نستقلها ما دامت تسير بسرعة ثابتة في خط مستقيم، لكننا نشعر بتسارعها لحظة إقلاعها وهبوطها، أي عندما تتسارع وتتباطأ. ونحن نشعر بهذا التسارع بتأثير قوى غير معروفة المصدر تدعى القوى الوهمية أو القصورية (قوة الطرد المركزي مثلا). وقد توصل نيوتن إلى هذا النوع من القوى بعد تمييزه بين نمطي الإسناد (

---

[1] أومنيس، رولان (2008)، **فلسفة الكوانتم**، مرجع سابق، ص76 -77.
[2] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص18.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

القصوري والمتسارع). و قد عزا نيوتن هذه القوى الوهمية إلى تسارع مراجع الإسناد بالنسبة إلى المكان المطلق. بل إن هذا ما أقنعه بوجود تسارع مطلق، ومن ثم مكان مطلق[1].

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

[1] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص

نتائج ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية:

حققت الفيزياء الكلاسيكية إنجازات باهرة في تفسير حركات المجموعة الشمسية، وحركات الأجسام على سطح الأرض، وحركات النجوم وتفاعلاتها، وفي تفسير خصائص الضوء، والظاهرات الكهرمغناطيسية، والظاهرات الحرارية، و خصائص الموائع والغازات و الاجسام الصلبة والإشعاعات على اختلاف أنواعها. لذلك ظن كثير من علماء القرن التاسع عشر أنها الكلمة النهائية التي تشكل قاعدة نهائية لكل التطورات العلمية، واعتقدوا أن صحتها مطلقة لا يحدها حد. وتبين لاحقا بطلان هذه النظرة، لكن هذه النظرة لم تأت من فراغ، وإنما انبثقت من الإنجازات الباهرة للفيزياء الكلاسيكية على كل صعيد.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

السببية وإشكالاتها في ميكانيكا نيوتن و الفيزياء الكلاسيكية:

نستنبط من قراءة تاريخ النظرية الفيزيائية أن كل نظرية أساسية، تنطوي على تصور لمبدأ السببية، وتحدد معناه. ويبدو أن السببية هي شرط من شروط البناء النظري في الفيزياء. ويقودنا هذا إلى فكرة أننا لا نستطيع أن نتكلم عن السببية بمعناها الكوني من دون النظرية الفيزيائية. فالأخيرة هي التي تكسب السببية معنىً محددا. وفي الميكانيكا النيوتنية، فإن مصدر التغيرات والأحداث المادية هو التفاعلات المادية بين المكونات المادية، وبين الجسيمات الأولية تحديدا. وتعد القوة المقياس الرئيسي للتفاعلات المادية. فنظرية نيوتن في الحركة تحدد معنى السبب بأنه القوة المؤثرة على نظام فيزيائي. ومن جهة أخرى، فإن ميكانيكا نيوتن تحدد أيضا معنى النتيجة أوالتغير أو الحدث. فهي تؤكد، عبر قانون نيوتن الأول في الحركة أن هناك حالة حركية طبيعية لا تستلزم سببا خارجيا لوجودها، وهي حالة السكون أو حالة الحركة المنتظمة في خط مستقيم. فهذه هي حركة الجسيم في غياب تأثير القوى أو إذا كان مجموع القوى المؤثرة يساوي صفرا. بذلك فإن ميكانيكا نيوتن تعرف الحدث أو النتيجة أو التغير على أنه الانحراف عن هذه الحالة الحركية الطبيعية. وهذا ما يعبر عنه مقداريا قانون نيوتن الثاني في الحركة. "فالجسم المتحرك يعود إلى حالته الأولى عندما لا تعود القوة التي تدفعه قادرة على التأثير بشكل يدفعه"[1].

إن الحالة الآنية لنظام ما هي نتيجة ضرورية لحالته السابقة، وحالته اللاحقة هي نتيجة ضرورية لحالته الراهنة. إن قوانين الفيزياء الكلاسيكية والشروط الإبتدائية لنظام فيزيائي مغلق تحدد تماما مسار هذا النظام وتطوره ماضيا وحاضرا ومستقبلا[2].

إذن، فقوانين الميكانيكا الكلاسيكية تساعدنا على التنبؤ بمسار أي جسم متحرك في المستقبل، وتعلمنا أيضا عن حالته في الماضي، وذلك بالاستناد إلى ظروفه الحاضرة والقوى المؤثرة عليه.

[1] آينشتاين، البرت، انفلد، ليوبولد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ط10، ص11.

[2] Lenzen, Victor (1954), **Causality in Natural Science**, Charles C Thomas Publisher, USA, 213ed, p41.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ولنقارن هنا بين سببية ميكانيكا نيوتن والسببية المستمدة من الخبرة اليومية، تلك التي وجدت تعبيرا لها في اطروحات بعض الفلاسفة مثل ديفيد هيوم، وإلى حد ما، إيمانويل كانط. تفيد الخبرة اليومية أن السببية في خبرتنا اليومية تستلزم مبدأ التجاور المكاني والتعاقب الزمني. فالسبب والنتيجة يكونان متجاورين مكانيا، والسبب بالضرورة يسبق زمنيا النتيجة. فهل ينطبق هذا التوصيف كليا على سببية ميكانيكا نيوتن؟ إنه بالفعل ينطبق على التفاعلات المادية في حال تصادم الجسيمات معا، أو ملامسة الأجسام لبعضها بعضا (الاحتكاك مثلا). ففي التصادم مثلا نجد أن التجاور المكاني والتعاقب الزماني سمتان ملازمتان لفعل السببية. ولكن ماذا بشأن الجاذبية أو التأثير اللحظي عن بعد؟ هنا نجد أن هاتين السمتين كلتيهما لا تنطبقان البتة. فالأجسام المتفاعلة جاذبيا ليست متجاورة مكانيا. ولما كان هذا التفاعل لحظيا، فإن هذا أيضا يضع علامة استفهام على سمة التعاقب الزمني. فهنا نجد أنه من الصعب أن نحدد السبب والنتيجة أو أن نفصل بين السبب والنتيجة. ولربما كان هذا في ذهن برتراند رسل عندما قال إن العلم الحديث تخطى مبدأ السببية صوب المعادلات التفاضلية ونتائجها[1]. فيقول رسل "يبدو بالنسبة لي أنه لا ينبغي على الفلسفة أن تفترض مثل هذه الوظائف ذات الصبغة التشريعية، لأن السبب الذي حدا بالفيزياء أن تتوقف في البحث عن الأسباب هو، في الحقيقة، أنه لا توجد مثل هذه الأشياء. وأعتقد أن قانون السببية، مثله في ذلك مثل كثير مما يفوت على الفلاسفة، هو مخلفات من عصر مضى، وقد ظل باقيا، مثل النظام الملكي، لا لشيء سوى الافتراض، خطأ، بأنه لا ضرر منه"[2]. وبالطبع فإن نيوتن صاحب نظرية الجاذبية كان قلقا جدا بشأن مفهوم التأثير اللحظي عن بعد وحاول التخلص منه، لكنه لم يفلح في ذلك، وأبقى عليه لأنه أفلح في تفسير الظاهرات الكونية على اختلاف أنواعها.

أما فيما يتعلق بتطورات الفيزياء الكلاسيكية في القرن التاسع عشر، فقد جاءت منسجمة تماما مع مبدأ السببية المستمد من الخبرة اليومية. وتحديدا نصت نظرية الأثير على أن المؤثرات تنتقل بسرع محدودة عبره. لكن الأهم من ذلك هو نظرية ماكسويل في الكهرمغناطيسية. إذ بينت أن المؤثرات الكهرمغناطيسية تنتقل بسرعة الضوء المحدودة في الخلاء من نقطة إلى أخرى، بمعنى أنها لا تطيع مبدأ التأثير اللحظي عن بعد، وإنما تطيع قوانين المجال التي عبر عنها ماكسويل في معادلاته المشهورة. فلا يشعر جسيم مشحون بجسيم مشحون آخر لحظيا، وإنما يشعر بالمجال الكهرمغناطيسي الذي ينتقل في المكان والزمان. فالتفاعل الفعلي لا يحدث بين الجسيمين في حد ذاتهما، وإنما يحدث بين الجسيم و المجال. فالمجال لايربط بين موجودات تفصل بينها مسافات

[1] Russell, Bertrand (1966), **Human Knowledge. It's Scope and Limits**, George Allen and Unwin, New South Wales, 5Ed, p334.
[2]Russell, Bertrand (1919), **Mysticism and Logic and other Essays**, Longmans, Green and Co, New York, 3Ed, p180.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

كبيرة؛ لأنها لاترتبط الحوادث هنا بالظروف هناك، بل إن المجال مرتبط بالجوار القريب جدا، وفي لحظة زمنية سابقة ببرهة قصيرة جدا. فالمجال يتيح التنبؤ، ولكنه يتنبأ بما سيحدث في نقطة أبعد بقليل وفي اللحظة التالية، وذلك بالاعتماد على معرفتنا بما يحدث في اللحظة الآنية للحدث. وعملية التنبؤ هذه تقودنا لمعرفة ما سيحدث في النقاط البعيدة[1].

والمجال بالطبع امتداد من الطاقة والقوة في المكان والزمان. فهنا نجد أن التفاعل بين الجسيم والمجال يطيع مبدأ التجاور المكاني والتعاقب الزمني. فالتأثير الكهرمغناطيسي لا يؤثر على الجسيم المشحون إلا عندما يصل إلى موضعه. وبالطبع فإنه يسبق زمنيا التغير الذي يطرأ على الجسيم المشحون. وعند معالجتنا لمجال كهرمغناطيسي، فإننا نأخذ بعين الاعتبار اتجاه القوى الكهرمغناطيسية وكثافتها عند كل نقطة في المكان في لحظة معينة، والتي يمكن لنا منها أن نتنبأ بمواضع القوى الكهربائية والمغناطيسية و وسرعها واتجاهاتها وكثافتها في اللحظة التالية. فليس هناك إشكالات سببية في نظرية الضوء ونظرية المجال الكهرمغناطيسي. وكذلك الأمر بالنسبة إلى نظرية الحرارة (الثرموديناميك)، التي أضحت في فيزياء القرن التاسع عشر تعبيرعن قوانين نيوتن في الحركة مقرونة بقوانين الإحتمال. إذ إنها لا تهتم بالحالات الفردية، وإنما ما تنشده هو معرفة متوسط القيم التي تتميز بها كل المجموعة.

إذن يمكن القول إن الإشكال الرئيسي للسببية في الفيزياء الكلاسيكية هو إشكال الجاذبية، أي إشكال التأثير اللحظي عن بعد. وبالطبع فإن الفيزياء الكلاسيكية لم تستطع أن تحل هذا الإشكال ضمن إطارها، فكان لابد من تخطي الإطار الكلاسيكي صوب نظريتي النسبية الخاصة والعامة، لكي يتم التغلب على هذا الإشكال. ذلك أن النسبية الخاصة أكدت على أنه لا يمكن للطاقة أن تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء "فسرعة الضوء هي أعلى حد للعمليات الفيزيائية" [2]. كما استطاعت النسبية العامة أن تبني نظرية مجالية للجاذبية تنتقل الطاقة بموجبها من نقطة إلى أخرى بسرعة الضوء المحدودة. وهكذا نجد أن إشكالات السببية في نظرية ما يمكن أن تحل في نظرية أكثر تطورا من النظرية الأولى. ولكن يمكن أيضا أن تؤدي تطورات نظرية معينة إلى إعادة إنتاج إشكالات كنا نظن أننا قد تخطيناها وهذا ماحصل مع نظرية الكوانتم.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

---

[1] آيشتاين، البرت، انفلد، ليوبولد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص 152.

[2] Lenzen, Victor (1954), **Causality in Natural Science**, Charles C Thomas publisher, USA, 213Ed, p74.

الفصل الثاني

السببية في نظرية النسبية الخاصة (1905)

نشوء نظرية النسبية الخاصة:

في الفصل السابق توصلنا إلى أن الفيزياء الكلاسيكية هي الفيزياء الحديثة التي أقيمت على قاعدة ميكانيكا نيوتن المطورة. و منذ فراداي، نشأ مفهوم جديد في الفيزياء الكلاسيكية، هو مفهوم المجال الكهرمغناطيسي. الذي صاغ قوانينه الرياضية ماكسويل، ودعمه تجريبيا هرتز Heinrich Hertz ، وبنى نظرية تفاعله مع الجسيمات المشحونة لورنتز. وقد أدى التناقض بين ميكانيكا نيوتن الجسيمية ونظرية ماكسويل المجالية إلى بروز أفكار جديدة تمس المكان والزمان والمادة على أيدي لورنتز، وماكس ابراهام، وبوانكاريه، وآينشتاين، ومنكفسكي Hermann Minkowski.

تساءل آينشتاين منذ البداية عن الكيفية التي تتغير بها الكميات الفيزيائية وقوانين الطبيعة إذ ننتقل من مرجع إسناد قصوري إلى مرجع إسناد قصوري آخر. فما الذي يتغير؟ وما الذي يظل ثابتا في ظل هذا الانتقال؟ ونعني بمراجع الإسناد القصورية منصات المشاهدة البعيدة عن تجمعات المادة والتي تتحرك بسرع ثابتة في خطوط مستقيمة بالنسبة إلى بعضها بعضا. وقد سبق أن لوحظ أن قوانين الميكانيكا لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. ويسمى هذا المبدأ مبدأ النسبية، وهنا يبرز السؤال ما هي العلاقات الرياضية التي تحكم هذا الإنتقال؟ وقد افترضت الميكانيكا الكلاسيكية علاقات تحويل معينة تكاد أن تكون حدسية، وتسمى علاقات غاليليو التحويلية. وأساسها أن السرع تجمع معا أو تطرح من بعضها في عملية الانتقال هذه. وبرز السؤال، على الأقل في ذهن آينشتاين: هل ينطبق هذا المبدأ على معادلات ماكسويل في الكهرمغناطيسية؟ وكان من الواضح أنه لا ينطبق عليها في شكله الغاليلي. فهل يعني ذلك أن هناك مرجع إسناد مطلقا ترجع إليه كل الحركات وكل القوانين؟ هذا ما مال إليه علماء النصف الثاني من القرن التاسع عشر، حيث رأوا أن ما يسمى الأثير هو الذي يشكل هذا المرجع المطلق، ومن ثم برزت الفكرة بأنه يمكن أن نقيس سرع الأجسام أو سرعة الضوء بالنسبة إلى الأثير المطلق[1]. لكن عددا من التجارب الدقيقة التي أجريت في القرن التاسع عشر لم تعط أي نتائج إيجابية فيما يتعلق بالسرعة المطلقة بالنسبة إلى الأثير. ومن جهة، أخرى فقد لاحظ آينشتاين أن تجارب القرن التاسع عشر، وفي مقدمتها تجربة فراداي في الحث الكهربائي، تدل على أن الكهرمغناطيسية تطيع مبدأ النسبية. وفي تجربة فراداي، إذا ما حركنا

[1] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص30.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مغناطيس بشكل أفقي على محور حلقة عمودية، فإن تيارا كهربائيا يسري في الحلقة. وفي حال أبقينا المغناطيس ثابتا وقمنا بتحريك الحلقة صوب المغناطيس في الاتجاه المعاكس ولكن بالسرعة ذاتها، سرى التيار ذاته في الحلقة. ورغم أن الحركتين تختلفان في جوهرهما وفق التأويل السائد آنذاك، إلا أنهما تقودان إلى النتيجة ذاتها.

وفي التأويل السائد، آنذاك كان يتم تقسيم المادة إلى نوعين: المادة الملموسة والأثير. وكان يتم اعتبار المجال الكهرمغناطيسي والضوء ظاهرة أثيرية. ووفق هذا التأويل، فإن المغناطيس يولد مجالا كهربائيا حين يتحرك في الأثير، وهذا المجال الكهربائي ناجم عن تفاعل المجال المغناطيسي مع الأثير. و حين يبقى المغناطيس ثابتا وتتحرك الحلقة صوبه، لا يتولد مجال كهربائي، لكن تيارا كهربائيا ينشأ في الحلقة بفعل قوة لورنتز التي تنشأ عن حركة الإلكترونات في المجال المغناطيسي. لقد رفض آينشتاين هذا التأويل الكلاسيكي، لاحتوائه على عناصر ميتافيزيقية مثل الأثير، واستعاض عنه بالتأويل الآتي: تعتمد ظاهرة الحث الكهرمغناطيسي على السرعة النسبية بين الموصل والمغناطيس، لا على السرعة المطلقة بالنسبة إلى الأثير. والمجال الكهربائي وفقا لتأويل آينشتاين لا ينشأ بسبب التفاعل المادي بين المغناطيس والأثير، وإنما ينشأ بسبب تغير مرجع الإسناد القصوري. إذاً، فالمجال الكهرمغناطيسي يتحول ويتغير تبعا لتغير مرجع الإسناد القصوري. فما يبدو مجالا مغناطيسيا في مرجع إسناد، يبدو مزيجا من مجال مغناطيسي وآخر كهربائي في مرجع إسناد آخر يتحرك حركة منتظمة بالنسبة إلى المرجع الأول. وهكذا لا تعبر تجربة فراداي وفقا لآينشتاين عن تفاعل المغناطيس مع الأثير، وإنما تعبر في الحقيقة عن خضوع الظاهرات الكهرمغناطيسية إلى مبدأ النسبية، كما هو الأمر مع الظاهرات الميكانيكية[1]. ووفقا لآينشتاين فإن مبدأ النسبية هذا مبدأ كوني ينطبق على جميع الظاهرات الطبيعية، مهما كان نوعها، ميكانيكية أكانت أم كهرمغانطيسية أم ضوئية. فقوانين الطبيعة لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى أخر يتحرك حركة منتظمة بالنسبة إلى الأول، رغم أن الأشياء وخصائصها تتغير بتغير مرجع الإسناد، بما في ذلك المجالات والأطوال والأزمان[2]. و على أي حال، أليس من الغريب حقا أن يكون هناك سرعة مطلقة وأن تعجز الميكانيكا عن الكشف عنها؟ وقاد ذلك كله آينشتاين إلى الاستغناء كليا عن مفهوم الأثير، وإلى وضع المبادئ الآتية:

---

[1] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطورالأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص142-143

[2] غصيب، هشام (2017)، **العقل أولا العقل لانهائيا**،الأردن: الجمعية الفلسفية الأردنية، ط1، ص171.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مبادئ نظرية النسبية الخاصة:

أولا: إن مبدأ النسبية مبدأ كوني، وهذا يعني أن قوانين الطبيعة كلها لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر[1].

ثانيا: إن قوانين ماكسويل تطيع مبدأ النسبية، ومن ثم إن سرعة الضوء، التي تدخل جوهريا في معادلات ماكسويل، لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. و يؤكد هذا المبدأ على أن الضوء ينتشر في الخلاء بسرعة ثابتة دائما (بسرعة مستقلة عن الحالة الحركية للراصد و لمصدر الضوء.)، ويؤكد آينشتاين هذا الافتراض بعبارته الآتية: " إن سرعة الضوء واحدة في كل المراجع، سواء كان منبعه ساكنا أو متحركا، ومهما كان أسلوب حركة هذا المنبع."[2]. ومعنى هذا أنه مهما تغيرت سرعة المرجع، فإن الضوء يبقى محافظا على سرعته. ولا تفترض هاتان المقولتان مسبقا طبيعة العلاقات التحويلية[3].

وقد أدرك آينشتاين أن إنسجام هذين الافتراضيين معا يحتم تعديل التصور النيوتني للمكان والزمان والكتلة. فأدرك أن العلائق المكانية والزمنية لا يمكن أن تكون مطلقة في ظل هذين الافتراضيين. ومعنى ذلك أن الأطوال والفترات الزمانية تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. وكذلك الأمر مع الكتلة. وقد قادت هذه الاعتبارات آينشتاين إلى اشتقاق العلاقات التحويلية الجديدة، التي أخذت تعرف بعلاقات لورنتز التحويلية؛ لأن لورنتز كان قد اشتق هذه العلاقات من معادلات ماكسويل، من دون أن يدرك معناها الفيزيائي. فأعاد آينشتاين اشتقاقها من افتراضيه مصبغا عليها معنى جديدا. فقوانين الطبيعة ينبغي أن تكون هي نفسها في كل المراجع القصورية.

وعلى عكس لورنتز فقد اعتبر آينشتاين العلاقات التحويلية صفات أساسية للمكان والزمان. فهذه العلاقات لم تكن مجرد علاقات كهرمغناطيسية عرضية. وقاده هذا إلى أن يوجه نقده إلى الأسس الفلسفية والفيزيائية لنظرية نيوتن في المكان والزمان، والتي تحتكم إلى معادلات غاليليو التحويلية. وهي تنطبق على المشاهدات إذا كانت سرعة الجسيم صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء. أما علاقات لورنتز، فتدعهما الشواهد الكهرمغناطيسية والتجارب الضوئية. وهكذا وجد آينشتاين أن قوانين غاليليو وعلاقاته تمثل تقريبا للمرتبة الأولى لعلاقات لورنتز. إن تعميم علاقات لورنتز التحويلية على جميع نطاقات الطبيعة أفضى إلى تعديل قوانين نيوتن في الميكانيكا لتنسجم مع الافتراضين المذكورين. ويجدر التنبيه إلى أن آينشتاين هنا أعطى الأسبقية الأنطولوجية إلى المجال بالنسبة إلى

[1] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص184.
[2] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص176.
[3] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص184.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الجسيم. فالعلاقات التي تنطبق على المجال، وهي علاقات لورنتز، هي الأدق والأساس. أما العلاقات التي تنطبق على الجسيم، وهي علاقات غاليليو، فهي مجرد تقريب لعلاقات لورنتز[1].

لقد تمكنت نظرية النسبية الخاصة من فرض سلطتها على كل قوانين الفيزياء رغم نشوئها من نطاق المجال.

[1] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص203.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

نتائج نظرية النسبية الخاصة:

1- إن الأجسام تنكمش في اتجاه حركتها بالنسبة إلى مرجع الإسناد القصوري الذي تتم منه المشاهدة. وهو ما أطلق عليه انكماش لورنتز فيتزجيرالد FitzGerald [1]. ويزداد هذا الانكماش كلما ازدادت سرعة الجسم المتحرك[2]. وفي "كتابه تطور الأفكار الفيزيائية" يقول آينشتاين"إن العصا المتحركة تتقلص في اتجاه الحركة، وإن هذا التقلص يستفحل لدى تزايد سرعتها، فتصبح أقصر فأقصر، لكن هذا التقلص لايحدث إلا في اتجاه الحركة"[3].

2- إن الساعات المتحركة بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري تتباطأ في وتيرة زمنها، ويزداد هذا التباطؤ كلما ازدادت سرعة الساعة. فتزامن حدثين، تفصل بينهما مسافة محدودة بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري، لا يعني أنهما يتزامنان أيضا بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري آخر[4]. ويشير آينشتاين في "كتابه تطور الأفكار الفيزيائية" إلى أن" إيقاع الميقاتية المتحركة يتغير، إذا قيس بإيقاع الميقاتيات التي تمر أمامها والموزعة على استقامة القضيب- المرجع، فتتباطأ، ويستفحل هذا التباطؤ حتى تتوقف الميقاتية تماما عندما تبلغ في حركتها سرعة الضوء"[5].

3- لقد عدل آينشتاين قوانين ديناميكا نيوتن بما ينسجم وعلاقات لورنتز التحويلية، وكانت من نتائج ذلك، أن كتلة جسم ما تزداد بازدياد سرعة الجسم، بالنسبة إلى مرجع الإسناد القصوري الذي تتم منه المشاهدة[6].

4- ومن نتائج ذلك أيضا أنه لا يمكن للطاقة أن تنتقل من نقطة إلى أخرى بأكثر من سرعة الضوء. فأي تأثير تنتقل بموجبه الطاقة لا يمكن أن ينتقل لحظيا، وإنما ينتقل في أقصى حد له بسرعة الضوء. فسرعة الضوء حد أعلى لا يمكن تجاوزه. وهذا يعارض مفهوم الفعل اللحظي عن بعد النيوتني، الأمر الذي يشير إلى طريقة حل إشكال السببية المتعلق بالفعل عن بعد، كما أشرنا سابقا.

5- لقد أزالت النسبية الخاصة الجدار المطلق الذي كان يفصل بين الكتلة و الطاقة في الفيزياء الكلاسيكية. إذ بيّن آينشتاين أن الكتلة يمكن أن تتحول إلى طاقة، وأن الطاقة يمكن أن تتحول إلى كتلة؛ لأن الكتلة هي شكل من أشكال الطاقة. كما بين أن للطاقة قصورا ذاتيا، كما للأجسام المادية[7].

---

[1] مشرفة بك، علي (1945)، **النظرية النسبية الخاصة**، القاهرة: مطبعة لجنة التأليف والترجمة والنشر، ط1، ص24.
[2] آينشتاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، القاهرة دار نهضة مصر للطبع والنشر، ط15، ص35-36.
[3] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص200.
[4] آينشتاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، القاهرة: دار نهضة مصر للطبع والنشر، ط15، ص36-37.
[5] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، سوريا: منشورات وزارة الثقافة، ط10، ص 201.
[6] كاكو، ميشيو (2013)، **فيزياء المستحيل**، الكويت: عالم المعرفة، ط4300، ص232-233 .
[7] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص 208.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

"فالطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء"[1]. و ينص قانون حفظ الكتلة الطاقة على أنه إذا تدبرنا نظاما ماديا ما مغلقا، يظل المجموع الكلي لكتله وطاقاته محفوظا.

ومن أهم الأسباب، التي جعلت إدراك هذه الوحدة بين الكتلة والطاقة على مستوى الفيزياء الكلاسيكية صعبا، هو أن التغير الكتلي النسبوي يكون صغيرا جدا بحيث يتستعصى على أدق الموازين في حال السرع المألوفة الصغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء. فسبب عدم هذا الوضوح المباشر هو صغر نسبة الكتلة على الطاقة التي تكافئها. فالطاقة كانت تعتبر عديمة الكتلة، لأن الكتلة التي تمثلها ضئيلة جدا. وهكذا تقودنا نظرية النسبية الخاصة إلى أن المادة تمثل مستودعات طاقة هائلة، وأن الطاقة تمثل كتلة، وهذا يجعل من الصعوبة بمكان التمييز كيفيا بين المادة والمجال، لأن التمييز بين الكتلة والطاقة ليس كيفيا. فالقسم الأعظم من الطاقة مكثف على شكل مادة، لكن المجال المحيط بالجسيم يمثل طاقة أيضا رغم صغر كميتها. وهذا يقودنا إلى القول إن المادة توجد حيث يكون تركيز الطاقة كبيرا، والمجال يوجد حيث يكون تركيز الطاقة صغيرا. والفرق بين المادة والمجال هو فرق مقداري لا كيفي، ولا يصح أن ننظر إلى المادة والمجال بوصفهما كيفيات مختلفة عن بعضهما بعضا. وهكذا يصبح المجال أكثر جذرية من المادة التي تعد تركيزا شديدا للطاقة في حيز صغير جدا. وهكذا تتخذ الفيزياء النسبية من المجال أساسا في تفسير ظاهرات الطبيعة. فوفقا لآينشتاين، يعد المجال أكثر الابتكارات أهمية منذ عهد نيوتن. ولقد أستلزم هذا الابتكار خيالا علميا جبارا في سبيل إدراك أن المهم في الأمر ليس الشحنات أو الجسيمات. إن المجال السائد في الفضاء الفاصل فيما بين الشحنات والجسيمات هو الحقيقة الجوهرية التي تفسر الظاهرات الفيزيائية. إن مفهوم المجال هذا يكشف عن خصوبة كبيرة وأفضى إلى صوغ معادلات ماكسويل التي تصف بنية المجال الكهرمغناطيسي وتسيطر على الظاهرات الكهربائية والمغناطيسية، كما تسيطر على الظاهرات الضوئية سواءً بسواء[2]. فالمجال الكهرمغناطيسي بالنسبة إلى الفيزيائي المعاصر وفقا لآينشتاين عُنصرٌ واقعي تماما كواقعية الكرسي الذي تجلس عليه.

---

[1] مشرفة بك، علي (1945)، **النظرية النسبية الخاصة**، القاهرة: مطبعة لجنة التأليف والترجمة والنشر، ط1، ص 44.
[2] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص258.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لقد وحدت نظرية النسبية الخاصة إذاً بين الطاقة والكتلة عبر العلاقة التحويلية الشهيرة (الطاقة = الكتلة * مربع سرعة الضوء). فبهذه العلاقة، تمت إزالة الجدار الفاصل بين الجسيمات وبين المجال (الطاقة)، و وضحت إمكانية تحويل المادة الجسيمية إلى مجال بتحويل كتلة المادة إلى طاقة مجالية. وتعتمد كتلة الجسيم على سرعته، بحيث تزداد الكتلة بازدياد السرعة، وتقترب من اللانهاية كلما اقتربت سرعة الجسيم من سرعة الضوء في الخلاء. إذاً فالكتلة تكون أدنى ما تكون في حالة السكون.

وقد توصل آينشتاين إلى أن كل جسيم مادي يختزن بفعل ماهيته المادية مقدارا من الطاقة، وهذا يؤدي إلى القول بإن المادة هي شكل مركز من أشكال الطاقة، والطاقة هي شكل حر من أشكال المادة (المادة طاقة مركزة). فالقول بأن موجودا هو شكل من أشكال الطاقة يعني أنه من الممكن تحويل هذا الموجود إلى الأشكال الأخرى للطاقة، كالحركة والحرارة والأمواج الكهرمغناطيسية ، أي إمكانية تحويل المادة إلى مجال، والمجال إلى مادة. وهذا يعني أنه يمكن توحيد المادة والمجال في جوهر واحد. إذ انهما لا يختلفان من ناحية المضمون رغم اختلافهما من ناحية المظهر أو الهيئة.

وفي حالة الكميات الفيزيائية كالطاقة، فإن الاشكال المختلفة (الضوء، والحرارة، والكهربائية، والمغناطيسية) تتغير تحت ظروف معينة، وتتحول إلى بعضها البعض. وهذا التغير لا يؤثر على الجوهر، أي على مقدار الطاقة. فهناك قانون حفظ للطاقة يمنع فقدانها في أي نظام مغلق عند التحول من شكل إلى آخر. فمقدار الطاقة ثابت غير متغير في نظام مغلق. ومعادلة آينشتاين النسبية للطاقة ليست سوى علاقة تناسبية بين الكتلة وأشكال الطاقة الأخرى، بالاضافة إلى أن ثابت التناسب فيها ثابت كوني لا يتغير بتغير مرجع الإسناد الذي تتم منه عملية القياس. إذاً فالكتلة هي شكل من أشكال الطاقة، أي أن المادة هي مظهر من مظاهر الطاقة. فالجسيم والمجال مظهران مختلفان لجوهر واحد. ففي نظرية النسبية الخاصة كما وضحنا، ينصهر قانونا حفظ الكتلة الطاقة، في قانون واحد هو قانون حفظ الكتلة – الطاقة[1].

---

[1] الخولي، يمنى (2000)، **فلسفة العلم في القرن العشرين: الأصول- الحصاد- الأفاق المستقبلية**، الكويت: عالم المعرفة، ط1، ص202.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وفي عام 1900، استطاع الرياضي الألماني، أستاذ آينشتاين هيرمن منكفسكي، أن يعيد صوغ نظرية النسبية الخاصة بدلالات هندسية، نقلت النسبية الخاصة من طور إلى طور أكثر تقدما. وكانت هذه الخطوة المهمة خطوة أساسية في تخطي النسبية الخاصة صوب نظرية النسبية العامة. إذ بين منكفسكي أننا نستطيع أن نشتق نظرية النسبية الخاصة برمتها من الافتراضات الآتية:

أولا- إن الزمان يشكل بعدا هندسيا، وعلى قدم وساق مع الأبعاد المكانية. من ثم فإن الفضاء الأساسي ليس المكان الثلاثي الأبعاد بمفرده ولا الزمان بمفرده، وإنما هو الفضاء الرباعي الأبعاد (المتصل الزمكاني)، الذي يتشكل من ثلاثة أبعاد مكانية، والبعد الزماني[1]. وإذا ادرنا نظام إحداثيات في هذا الفضاء الرباعي، يختلط المكان والزمان، بالصورة التي تظهرها معادلات النسبية الخاصة[2].

ثانيا- إن العلاقة بين مراجع الإسناد القصورية في الفضاء الرباعي هي علاقات دوران بين نظم الاحداثيات الرباعية[3].

ثالثا- إن المسافة الرباعية بين نقطتين في الفضاء الرباعي لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر، أي إذا انتقلنا من نظام إحداثيات رباعية إلى نظام آخر، مدار بالنسبة إليه[4].

من هذه الافتراضات، استطاع منكفسكي أن يشتق كل معادلات آينشتاين الكينماتيكية والديناميكية. ويمكن القول إن خطوة منكفسكي بسطت مفاهيميا نظرية النسبية الخاصة، وأعطتها شكلا أنيقا فتح أمامها افاقا كبيرة للتطور.

إذاً، و بموجب نظرية النسبية الخاصة هناك ارتباط وثيق بين الإحداثي المكاني والإحداثي الزماني[5]. فعندما نصف حوادث الطبيعة يجب أن نتناول المتصل الزمكاني بوصفه عضوية واحدة غير منفصلة؛ لأن عالم الظاهرات في النسبية الخاصة يختلف عنه في عالم الفيزياء الكلاسيكية التي تهتم بالتحويل المكاني لا الزماني، بوصفه مطلقا لا يتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. أما في النسبية الخاصة، فنجد أن الحادث الواحد يحصل في عالم متصل زمكانيا. فكلا البعدين يتغيران بالصورة ذاتها عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. وهذا التغير الزماني يكون ملحوظا بصورة واضحة إذا كانت السرعة النسبية قريبة من سرعة الضوء. و تحويل لورنتز هو

---

[1] جينز، جيمس (1998)، **الفلسفة والفيزياء**، ترجمة: جعفر رجب، مصر: دار المعارف، ط1، ص160.

[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص185.

[3] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص 186.

[4] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص74.

[5] باليبار، فرانسواز (1993)، **آينشتاين يقرأ غاليلو ونيوتن: المكان والنسبية**، ترجمة: سامي أدهم، بيروت: المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع،، ط1، ص118.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الذي يعين أوصاف تحويل المتصل الزمكاني الرباعي الأبعاد في عالم الظاهرات رباعي الأبعاد، ويمكننا هذا التحويل من أن نحدد زمن ومكان حادث بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري معين إذا كنا نعرف مكانه وزمانه بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري آخر.

ولقد ساهمت النسبية الخاصة في شكلها المنكفسكي في إتمام توحيد المجالين الكهربائي والمغناطيسي. إذ بينت أن ما يظهر على صورة مجال كهرستاتيكي في مرجع إسناد قصوري يظهر على صورة مجال مغناطيسي في مرجع إسناد قصوري آخر. وهذا لا يؤثر بتاتا على الشكل الديناميكي للتأثير. فقوانين الطبيعة في حد ذاتها غير متغيرة إذا ما انتقلنا من مرجع إسناد قصوري إلى آخر، رغم تغير شكل الظاهرات والأحداث الطبيعية. وهذا إن دل على شيء فهو يدل على أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي هما في جوهرهما مجال واحد يتمظهر في عدة أشكال، بالاستناد إلى مرجع الإسناد القصوري الذي تتم منه المشاهدة ويتم منه القياس، بالاضافة إلى أن متجه المجال الكهربائي ومتجه المجال المغناطيسي ينتميان إلى تنسور رباعي واحد وفقا للنسبية الخاصة، أي أنهما يشكلان مركبات مختلفة لبنية رياضية واحدة. وهكذا فقد أبرزت النسبية الخاصة الوحدة العضوية بين الكهرباء والمغناطيسية في المجال. إذ اعتبرته نظاما ديناميا قائما في ذاته ويتمتع بالخصائص الدينامية ذاته، التي تتمتع بها الأنظمة الجسيمية، بما في ذلك القصور الذاتي. فللمجال قصور ذاتي تماما مثل الأنظمة الجسيمية.

إن القوة المؤثرة على جسيم معين، والتي تولد تغيرا ثابتا في السرعة خلال فترات زمنية متساوية، هي قوة ثابتة. فالقوة وفقا لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية متناسبة مع تغير السرعة (التسارع). إلا أن هذا القانون وفقا لنظرية النسبية الخاصة غير صحيح؛ حيث إن هذا القانون لا يصح إلا عند السرع الصغيرة جدا. لذلك، فإن نظرية النسبية الخاصة تعدل هذا القانون بحيث ينسجم مع مبدأ النسبية الخاصة الآينشتياني. فإذا كانت سرعة الجسيم المادي كبيرة، تلزم قوة هائلة لزيادة سرعته. وكلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء ازدادت الصعوبة في زيادة سرعته. ولا يجوز ان تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء؛ لأن كلتة الجسم تصبح لا نهائية عند سرعة الضوء. هذا هو الفرق الذي تفرضه نظرية النسبية الخاصة. فسرعة الضوء هي الحد الأعلى الذي لا يمكن تجاوزه، ولا يوجد قوة مهما كانت كبيرة قادرة على توليد سرعة أكبر من سرعة الضوء. ففي مكان قانون الميكانيكا القديم، الذي يربط ما بين القوة وتغير السرعة، يظهر قانون جديد أكثر تعقيدا. فالميكانيكا التقليدية تقريبية من وجهة نظرية النسبية الخاصة[1].

[1] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص204.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وفي ميكانيكا نيوتن فإن كل جسم يقاوم التغير في حركته، ومقاومته هذه تشتد، كلما كانت كتلته أكبر، وتضعف كلما كانت كتلته أصغر. على أن الأمر يختلف في نظرية النسبية الخاصة. فمقاومة الجسم لزيادة سرعته لا تشتد بسبب عظم ما يسمى كتلته السكونية (أي كتلته في حالة سكونه) فقط، وإنما بفعل إزدياد سرعته أيضا. أي إن الأجسام المتحركة بسرع قريبة من سرعة الضوء تبدي مقاومة شديدة تجاه القوى الخارجية التي تؤثر عليها، وتشتد هذه المقاومة حتى تصبح لا متناهية في الكبر عندما يبلغ الجسم سرعة تساوي سرعة الضوء[1]. و الجسم الساكن لا يملك طاقة حركية، إلا أنه يملك طاقة كتلة، و هذا على عكس الجسم المتحرك الذي يملك طاقة كتلة و طاقة حرك في آن واحد، وهو يقاوم التسريع بصورة أكبر مما يفعل الجسم الساكن، فكأن الطاقة الحركية للجسم المتحرك هي التي تزيد في مقاومته للتسريع. فإذا كان لجسمين كتلتان سكونيتان متساويتان، فإن الجسم الذي يمتلك طاقة حركية يقاوم تأثير القوى الخارجية بجهد اكبر مما يفعل الجسم الساكن[2]. و تفترض نظرية النسبية الخاصة أن كل طاقة تقاوم تغيير الحركة، وأن كل طاقة تتصرف تصرف المادة. فقطعة الحديد يزداد وزنها عندما نسخنها لأنها تكتسب طاقة حرارية، وأن أشعة الشمس المنشترة في الفضاء تتمتع بكتلة، لأنها تملك طاقة إشعاعية. وعلى هذا، فإن الشمس وكل نجوم الكون تفقد باستمرار من كتلتها بالإشعاع.

---

[1] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص205.

[2] آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص207.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

السببية في نظرية النسبية الخاصة وإشكالاتها:

استطاعت نظرية النسبية الخاصة أن تُحلَ مفهوم المجال كليا محل مفهومي الأثير والتفاعل عن بعد اللحظي. ومن أهم نتائجها أن المجالات أو الأمواج المجالية أو المؤثرات الطاقية لا يمكن أن تنتقل من نقطة إلى أخرى في المكان بأكثر من سرعة الضوء. من ثم، فقد عارضت النسبية الخاصة نظرية نيوتن في الجاذبية التي تفترض أن التفاعل الجاذبي لحظي. فالنسبية الخاصة، وإن لم تلغ التفاعل عن بعد اللحظي، إلا أنها رفضت هذا المفهوم على أمل أن تقدم البديل لاحقا. "إذ كيف يؤثر جسيم على جسيم في مكان آخر غير موجود فيه"[1]. بذلك فقد ردت نظرية النسبية الخاصة الاعتبار للمفهوم التقليدي عن السببية، والقائم على أساس مبدأي التجاور المكاني والتعاقب الزماني. فلا يتأثر جسيم مشحون مثلا بجسيم مشحون آخر (كهربائي)، إلا بعد أن تصل إليهما طاقة التفاعل بسرعة الضوء. فلو تدبرنا جسيمين مشحونين كهربائيا تفصل بينهما مسافة معينة، فإن الواحد منهما لا يتأثر بالآخر إلا عندما تصل طاقة التفاعل إلى كل منهما. فالجسيم المشحون لا يتأثر بالجسيم الآخر إلا عندما تجاوره (تصل إليه) طاقة التفاعل. ومن جهة، أخرى فإن السبب هنا (أي طاقة التفاعل) تسبق زمنيا تأثر الجسيم المشحون بها. والنقطة الجوهرية هنا أن التفاعل بينهما ليس لحظيا وليس عن بُعد.

وكما أسلفنا فإن المفهوم الأساسي في النسبية الخاصة هو مفهوم الزمكان (زمكان منكفسكي[2]). وفي هذا السياق، فإننا لا نتكلم عن الجسيمات في الزمكان بقدر ما نتكلم عن الأحداث في الزمكان. ونعني بالحدث الزمكاني نقطة هندسية في الزمكان، بمعنى أنها تتحدد بثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمني. وهنا يبرز السؤال في النسبية الخاصة : ما هي العلائق القائمة بين الأحداث الزمكانية؟ هل هذه العلائق سببية بالضرورة؟ وإذا لم يكن الأمر كذلك، فما هي شروط أن تكون العلاقة سببية بين حدثين؟ كما أسلفنا، فإن التزامن في النسبية الخاصة بين حدثين تفصلهما مسافة مكانية عن بعضهما بعضا ليس مطلقا. وهذا يعني أنه إذا كان الحدث (أ) يسبق زمنيا الحدث (ب) بالنسبة إلى مرجع إسناد قصوري، فقد نجد أن هناك مراجع إسناد قصورية أخرى يسبق فيها (ب) الحدث(أ). كيف نوفق بين هذه النتيجة وبين مبدأ السببية الذي يؤكد التعاقب الزمني. هنا نقول إن العلاقة بين حدثين تكون سببية إذا كانت الفترة الزمنية بينهما تسمح بانتقال طاقة أو تأثير مادي بينهما بسرعة لا تتجاوز سرعة الضوء. وتبين النسبية الخاصة أن السبب في هذه الحالة دائما يسبق النتيجة بالنسبة إلى جميع مراجع الإسناد القصورية. وهذه ضمانة لانطباق مبدأ السببية على الأحداث الزمكانية. أما إذا لم يتوافر هذا الشرط، فلا تكون العلاقة بين الحدثين سببية. من ثم نستطيع أن نقسم الزمكان إلى صنفين من الفترات

[1] آينشتاين، البرت (1985)، **هكذا ارى العالم**، ترجمة: أدهم السمان، سوريا: منشورات دار الثقافة، ط1، ص64.
[2] Columbia University (2013), **Lecture Notes on General Relativity**, p7.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الزمكانية، الصنف السببي والصنف غير السببي. ويكون التعاقب الزمني ثابتا بالنسبة إلى جميع مراجع الإسناد القصورية في الصنف الأول، لكنه لا يكون كذلك في حال الصنف الثاني. هكذا استطاعت النسبية الخاصة أن تحل إشكاليات السببية فيها وأن تؤكد على الفهم التقليدي للسببية.

وفي النسبية، الخاصة تمثل المخاريط الضوئية أكثر التراكيب أهمية في الزمكان. وعلى نحو خاص، تمثل حدود التأثير السببي. ويمثل تاريخ أحد الجسيمات في الزمكان بخط متجه لأعلى في مخطط الزمكان، و يتعين على هذا الخط أن يظل داخل نطاق المخروط الضوئي. وهذه وسيلة أخرى للقول إن أي جسيم فيزيائي لا يستطيع أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء، لأن الإشارات الضوئية داخل المخروط، لا تستطيع الإنتقال من داخل المخروط الضوئي إلى خارجه. ولذلك فإن المخروط يمثل فعليا حدود السببية[1].

و يفصل بين الماضي والمستقبل في النسبية الخاصة فترة متناهية يتوقف طولها على بعد المراقب. وكل فعل سببي ينتشر بسرعة تقل عن سرعة الضوء أو تساويها. وهذا يؤدي إلى أن المراقب لا يمكن في لحظة في ذاتها أن يعرف أو أن يؤثر على حدث في موقع بعيد، يقع بين زمنين مميزين: الزمن الاول هو لحظة صدور إشارة ضوئية من مكان وقوع الحادثة لكي تصل إلى المراقب في لحظة الملاحظة. أما الزمن الآخر فهو اللحظة التي عندها تصل هذه الاشارة الضوئية، التي يطلقها المراقب لحظة الملاحظة إلى موقع الحدث. والفترة الزمنية المتناهية كلها بين هاتين اللحظتين هي ما نسميه الزمن الحاضر للمراقب لحظة الملاحظة. وكل واقعة تحدث بين هذين الزمنين المميزين تكون متزامنة مع فعل الملاحظة.

---

[1] بنروز، شيموني، كارترايت، هوكنج (2009)، **فيزياء العقل البشري والعالم من منظورين**، أبو ظبي: كلمات عربية للترجمة والنشر، ط1، ص30-31.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الثالث

السببية في نظرية النسبية العامة (1915)

نشوء نظرية النسبية العامة:

تعد نظرية النسبية العامة، التي نشرها آينشتاين عام 1915 تتويجا للتصور المجالي للكون، الذي شهد بدايته الأولى على يدي الفيزيائي الإنجليزي مايكل فراداي. وقد تبلّر مفهوم المجال رياضيا على يدي الفيزيائي الإسكتلندي جيمس كلارك ماكسويل، الذي وضع معادلات تفاضلية تحكم الظاهرات الكهرمغناطيسية. ولاحقا ترسخ مفهوم المجال على يدي آينشتاين في النسبية الخاصة، ووصل أوجه في النسبية العامة التي تعد أداة نظرية رئيسية في دراسة الكون بوصفه نظاما موحدا ومتكاملا. ولقد جاءت نظرية النسبية العامة حلا للتناقضات القائمة بين نظرية النسبية الخاصة وجاذبية نيوتن ومراجع الإسناد المتسارعة. ومن أجل التعبير عن أفكار النسبية العامة وعلاقاتها وقوانينها استعان آينشتاين بفروع رياضية جديدة تبلّرت على أيدي مجموعة من الرياضيين مثل غاوس و ريمان وكريستوفل Christoffel وريتشي Ricci وليفي شيفته levi-civite وهلبرت Hilbert وغيرهم من الرياضيين في القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين. ومن هذه الفروع الرياضية هندسة ريمان وجبر التنسورات. وقد دفعه شمول نظرية النسبية وعمقها إلى الاستعانة بهذه الفروع الرياضية المعقدة.

ونظرية النسبية العامة هي نظرية هندسية في المكان والزمان و الجاذبية[1]. إذ تفترض علاقات موضوعية معينة بين هذه العناصر الثلاثة. والمفهوم الجوهري والأولي في نظرية النسبية العامة هو مفهوم المجال. فهي في المقام الأول نظرية مجالية في الجاذبية. والمجال كما تعبر عنه النسبية العامة هو " إمتداد متصل من الطاقة في الزمان والمكان"[2].

---

[1] Columbia University (2013), **Lecture Notes on General Relativity**, p42.

[2] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص10.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لقد لاحظ آينشتاين وجود تناقض أساسي بين قوانين الميكانيكا النيوتنية وبين قوانين ماكسويل في الكهرمغناطيسية، من حيث الارتباط بالمكان والزمان. وهذا بالإضافة إلى وجود تناقض كبير بين نظرية نيوتن في الجاذبية وبين نظرية ماكسويل في الكهرمغناطيسية. فجاذبية نيوتن لم ترتقِ إلى نظرية مجالية توضح كيف ينتقل التأثير الجاذبي في المكان في زمن محدد، على عكس كهرمغناطيسية ماكسويل وفراداي. بالاستناد إلى هذه الاعتبارات نشأ لدى آينشتاين رغبة ببناء نظريته المجالية الشاملة للجاذبية. فلقد أدرك آينشتاين أنه بالتوحيد، يمكن حل تناقضات الفيزياء الكلاسيكية. وهذا التوحيد بين النظريتين (النيوتونية التي تطيع قوانين التحويل الغاليلية، ونظرية ماكسويل التي تطيع قوانين التحويل اللورنتزية) يكمن في موجود مادي يقع خارج النظريتين، ويشكل الخلفية المشتركة بينهما التي يدور فيها الصراع والتفاعل بينهما. وهذه الخلفية هي التي تضفي صفات معينة على ما يتحرك ويتغير ضمنها. والخلفية المعنية عند آينشتاين مكونة من المكان والزمان. فقد أدرك آينشتاين أن التناقض القائم بين الميكانيكا النيوتنية ونظرية المجال الكهرمغناطيسي يمكن إرجاعه إلى طبيعة المكان والزمان، أكثر مما يعود إلى طبيعة المادة الجسيمية والمجال الكهرمغناطيسي. وقاد هذا آينشتاين إلى إعادة النظر في التصور النيوتني القاصر للمكان والزمان، والذي يستلزم إجراء بعض التعديلات عليه، حتى يتوافق مع التصور الجديد للزمان والمكان. وهكذا حاول آينشتاين إجراء توحيد كامل وشامل، بالاستناد إلى "التناقض الحاصل بين الطبيعة المادية للمجال الكهرمغناطيسي الذي يتسم بالاتصالية، وبمحدودية سرعة انتقاله من مكان إلى آخر، وبين الطبيعة المادية للجاذبية النيوتنية التي تعد في جوهرها فعلا عن بعد يتسم بالإتصالية وبلحظية تأثيره. هذا بالإضافة إلى التناقص القائم بين السرعة والتسارع، أي بين مراجع الإسناد القصورية ومراجع الإسناد المتسارعة، والتناقض القائم بين القوى القصورية وبين قوة الجاذبية. "[1].

وعلى أساس تصوره المجالي للوجود المادي أعاد آينشتاين صوغ الأطروحة الماخية. فآينشتاين في فلسفته الطبيعية يركز على أسبقية المجال على الجسيم. فهو يعتبر أن المجال هو الحقيقة الأولية والجذرية والجوهرية للوجود المادي. فالتفاعل وفقا للقول بأسبقية المجال، فعل مادي طاقي ينتقل في المكان بسرعة معينة. فالجسيمات لا تتفاعل لحظيا معا عن بعد، وإنما تتفاعل موضعيا مع المجالات التي تولدها. وهذه المجالات تنتقل في المكان بسرعة تساوي سرعة الضوء، وفقا لآينشتاين وماكسويل. وهذا على عكس ماخ الذي يرى بالاستناد إلى وضعيته أن الجسيمات لها الأسبقية الأنطولوجية على المجال. فالكون عنده يعج بالجسيمات المتفاعلة معا لحظيا، ومن هذا المنظور بقي ماخ ملتزما بالتصور النيوتني للمادة والمكان.

[1] غصيب، هشام (1988)، **الطريق الى النسبية**، مرجع سابق، ص52.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لقد ركز أينشتابن في أعماله على بناء نظرية مجالية للجاذبية تأخذ بعين الاعتبار محدودية انتقال التفاعل الجاذبي في المكان، وتبين هذه النظرية بصورة مفصلة تغير شدة المجال الجاذبي في المكان والزمان. فقد أهتم آينشتاين بصوغ منظومة معادلات مجالية تصف وتفسر المجال الجاذبي على غرار منظومة ماكسويل. إذ ماكسويل استطاع أن يصوغ قوانين التفاعل الكهرمغناطيسي، وأن يضيف إليها مفهومات وعلاقات جديدة، بدلالة التغيرات المكانية والزمانية في المجال الكهرمغناطيسي.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

تكافؤ الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية:

في وضعه لقوانين الحركة لاحظ نيوتن أن قوانين الميكانيكا لا تفرق بين مرجع إسناد قصوري وآخر. إلا أنه أصر على فكرة وجود مكان مطلق (أو وسط أثيري مطلق)، يشكل المرجع الطبيعي المتميز لكل قوانين الطبيعة وعلائقها و ظاهراتها، رغم أن قوانين الحركة لا تفرق بين هذا المكان المطلق وبين أي مرجع إسناد قصوري آخر يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة للأول. فقوانين الحركة بحد ذاتها لا تقدم مؤشرا على وجود المكان المطلق، وإنما تشير إلى وجود مبدأ تناسقي معين هو مبدأ النسبية. ولقد افترض نيوتن أن السرعة نسبية بينما التسارع (المعدل الزمني لتغير السرعة) مطلق. فقوانين الحركة تمكننا من الاستدلال على التسارع بالنسبة إلى المكان المطلق وقياسه. والقول بأن التسارع مطلق يستلزم القول بوجود المكان المطلق، وهذا ما دفع نيوتن للإصرار على وجود المكان المطلق. فنحن نشعر بالتسارع لكننا لا نشعر بالسرعة. وسبب عدم شعورنا بحركة الأرض حول نفسها وحول الشمس هو صغر تسارع هذا الدوران، رغم أن سرعته كبيرة. فأي إطار مادي لا يتسارع بالنسبة إلى النجوم الثابتة (مادة الكون) لا نشعر بحركته، لكنه ما إن يبدأ بالتسارع بالنسبة إلى النجوم الثابتة حتى نبدأ نشعر بالحركة بصورة واضحة. وفي خبرتنا اليومية نجد هذا الأمر واضحا. فنحن حين نستقل الطائرة لا نشعر بحركتها لكونها تسير بسرعة منتظمة في خط مستقيم، لكنها ما إن تبدأ بالإقلاع أو الهبوط حتى نشعر بحركتها بسبب تسارعها وتباطؤها. وفي حالة قيادة السيارة إذا ما قمنا بالدوس على الفرامل، فإننا نشعر بقوة تدفعنا إلى الأمام. وهذه القوة غير محددة المصدر أو التفاعل وتسمى القوى القصورية أو الوهمية. ووجود مثل هذه القوى، التي تؤدي إلى تسارع الأجسام بالنسبة إلى النجوم الثابتة (مادة الكون)، هي التي أدت بنيوتن إلى القول بوجود تسارع مطلق ومن ثم مكان مطلق. وهذه القوى تدلنا على وجود المكان المطلق رغم أن قوانين الحركة تطيع مبدأ النسبية، ولا تفيدنا في الكشف عن المكان المطلق.

ولاحقا فسر ماخ وجود هذه القوى بالاستناد إلى نفيه وجود مكان مطلق. فماخ يرى أن القوة القصورية ليست دليلا على وجود تسارع مطلق. والسبب في ذلك أنه لا وجود لمعنى إجرائي لمفهوم التسارع المطلق. فلا معنىً للقول إن هذا الجسم أو جسما آخر يتحرك أو يتسارع بالنسبة إلى المكان المطلق. بل ويرى ماخ أنه لا داعي من الأساس لافتراض تسارع مطلق لتفسير وجود القوى القصورية. وكل ما في الأمر أن هذا الجسم يتحرك أو يتسارع بالنسبة إلى "النجوم الثابتة"، وهي مادة الكون في مجمله. فالجسم يتسارع بالنسبة إلى مادة الكون التي تحمل وفق ماخ معنى إجرائيا محددا ولها وجود تفاعلي إجرائي محدد. فالجسم إذاً لا يتسارع بالنسبة إلى مكان مطلق. وهكذا يمكن

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

القول إن إرجاع القوى القصورية إلى تأثير مادة الكون على الجسم المتسارع بالنسبة إليها أمر طبيعي. فكل جسم وفق هذا التفسير الذي قدمه ماخ يتفاعل بصورة أو أخرى مع مادة الكون. ويعتمد هذا التفاعل على التسارع النسبي للجسم بالنسبة إلى مجمل مادة الكون. فبدلا من إرجاع القوى القصورية إلى أثر المكان المطلق على الاجسام، يتم إرجاعها إلى تفاعل جاذبي بين الجسم المعني ومادة الكون التي تحيطه من كل جانب. وهذا التفاعل لا يعتمد فقط على المسافات الفاصلة بين الأجسام المتفاعلة، وإنما يعتمد أيضا على الحركة النسبية بينها (السرعة والتسارع). وكان نيوتن قد افترض أن قوة الجاذبية مطلقة، و لا تتأثر بالحركة النسبية للأجسام المتفاعلة معا. ولاحقا تبين أن هذا الافتراض يهتز بالنظر إلى التطورات العلمية في القرنين اللاحقين لنيوتن، وتحديدا إلى نظرية التفاعل الكهرمغناطيسي ، الذي يرتكز على السرعة والتسارع النسبيين للشحنات المتفاعلة معا. "فلو نظرنا إلى شحنة كهربائية من مرجع إسناد ساكن بالنسبة إليها، لرأينا ان المجال الذي تولده هو مجال كهرستاتيكي يطيع قانون كولوم المعروف، والذي يشبه قانون نيوتن الكوني في الجاذبية. ولكن لو نظرنا إليه من مرجع إسناد يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة إلى الشحنة، لرأينا انها تولد مجالا مغناطيسيا، إلى جانب المجال الكهرستاتيكي، يعتمد على السرعة النسبية"[1]. وفي حال كان مرجع الإسناد يتسارع بالنسبة إلى الشحنة، فستولد الشحنة بالإضافة إلى كل ما سبق، إشعاعا كهرمغناطيسيا كالضوء يعتمد على التسارع النسبي. وإذا كان الأمر كذلك مع التفاعل الكهرمغناطيسي والتفاعل الجاذبي، فهذا يقودنا إلى القول بأن مراجع الإسناد المتسارعة لا تختلف من حيث الجوهر عن مراجع الإسناد القصورية، فإذا حصل وكان هناك اختلاف مع مراجع الإسناد القصورية، فهو اختلاف من حيث التفاعلات التي تتعرض لها. وهذا يعني، "أن الكتلة الجاذبية وهي مصدر المجال الجاذبي، مماثلة تماما للكتلة القصورية، وهي مقياس نزوع الأجسام المادية إلى مقاومة تأثير القوى المؤثرة عليها"[2]. وهكذا نقد ماخ مفهوم المكان المطلق النيوتني، باعتباره القوى القصورية جاذبية الأصل والمصدر.

حاول آينشتاين بناء نظرية مجالية في الجاذبية بالاستناد إلى القاعدة التي وضعها ماخ، والتي تنص على أن الجاذبية هي مصدر القوى القصورية. ولحل التناقض بين النسبية والجاذبية استعان آينشتاين بظاهرة اكتشفها غاليليو في أثناء محاولته دحض نظرية أرسطو في الحركة، وهي ظاهرة سقوط الأجسام على سطح الأرض بالتسارع ذاته مهما كانت الكتلة، في حال أهملنا مقاومة الهواء. إن جوهر المسألة يكمن في التمييز بين الكتلة القصورية، وهي المسؤولة عن مقاومة الأجسام لتغيير حالتها الحركية، وبين الكتلة الجاذبية، وهي الخاصية المادية التي تولد التفاعل الجاذبي وتجعل

[1] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص23.
[2] غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، مرجع سابق، ص26.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الأجسام تتأثر به. وتتساوى الكتلة القصورية مع الكتلة الجاذبية[1]، بدليل أن الأجسام تسقط على سطح الأرض بالتسارع ذاته. فالقوى القصورية والقوى الجاذبية تشتركان في أن تسارع الأجسام تحت تأثير أي منها لا يعتمد على الكتلة. وإذا ما اعتبرنا أن الكتلة القصورية هي الشحنة التي تولد القوى الجاذبية، فإن تساوي الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية يعني أن هذه القوى تنتمي إلى المجال ذاته. و بتغير مرجع الإسناد القصوري، من الممكن تحويل القوى القصورية إلى قوى جاذبية، والقوى الجاذبية إلى قوى قصورية. فما يظهر في مرجع إسناد قصوري على أنه قوى قصورية يظهر في مرجع إسناد آخر على أنه قوى جاذبية.

إذاً، تعتبر القوى القصورية وقوة الجاذبية مظاهر مختلفة لمجال جاذبي عام. ولقد توصل آينشتاين إلى مبدأ التكافؤ من تساوي الكتلة الجاذبية مع الكتلة القصورية. وقد استعان آينشتاين بمبدأ التكافؤ لمعرفة الطبيعة الجوهرية للمجال الجاذبي، ممثلة بمنظومة المعادلات المجالية التي تحكمه. ومن نتائج مبدأ التكافؤ أن الزمن يتباطأ كلما ابتعدنا عن مصدر الجاذبية. ويتوقف الزمن كليا عندما نصل إلى الثقب الأسود وهو " منطقة في المكان- الزمان لايستطيع أي شيء أن يهرب منها، ولاحتى الضوء، لأن الجاذبية عندها قوية جدا"[2].

لقد قاد إدراك آينشتاين العميق لمادية المجال إلى بناء نظرية مجالية للجاذبية على غرار نظرية ماكسويل في الكهرمغناطيسية. ولم يكن آينشتاين الفيزيائي الوحيد في ذلك الوقت الذي شعر بالحاجة إلى بناء نظرية مجالية في الجاذبية. إذ شعر آخرون بعد 1905 تحديدا بالحاجة إلى صياغة نظرية مجالية في الجاذبية تنسجم ومبدأ النسبية الخاصة، الذي ينص على أن قوانين الطبيعة ينبغي أن لا تتغير عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر. كما أنهم أدركوا أن مفهوم التفاعل عن بعد لا ينسجم مع نظرية النسبية الخاصة. وبالفعل فقد تمكن عدد منهم من وضع نظريات مجالية في الجاذبية تنسجم تماما مع مبدأ النسبية الخاصة، ولعل أبرز اولئك كان العالم الفنلندي نوردستروم Nordstrom[3]. أما آينشتاين، فقط اتبع مسارا آخر في الوصول إلى نظرية مجالية في الجاذبية. إذ أدرك أن مبدأ النسبية الخاصة محدود وغير كافٍ لصوغ قوانين كونية. وبالنظر إلى رفضه فكرة المكان المطلق ارتكازا إلى نقد ماخ لميكانيكا نيوتن، فقد ركز منذ البداية على مبدأ النسبية العامة، الذي ينص على أن قوانين الطبيعة ينبغي أن لا تتغير إذا ما انتقلنا من مرجع إسناد إلى آخر، سواء كان مرجع الإسناد قصوريا أو متسارعا. وقد حاول منذ البداية أن يجد طريقا فيزيائيا

[1] Columbia University (2013), **Lecture Notes on General Relativity**, p42.

[2] هوكنج، ستيفن (2006)، **تاريخ موجز للزمن من الإنفجار الكبير حتى الثقوب السوداء**، ترجمة: مصطفى فهمي، مصر: الهيئة العامة المصرية، ط1، ص159 .

[3] Ghassib, Hisham (2017), **Reason and Method in Einstein's Relativity**, Cornell University. arxiv.org/abs/1801.06039. Physics.hist-ph.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لتحقيق ذلك، ووجد ضالته في مبدأ التكافؤ، الذي توصل إليه عام 1907. وفي أبسط صوره ينص هذا المبدأ على أن الكتلة القصورية تساوي دوما الكتلة الجاذبية، ليس بالصدفة، وإنما بفعل العلاقة العضوية بين القصور الذاتي والجاذبية. إذ أدرك آينشتاين أن هذا التساوي بين الكتلتين يعبر عن إمكانية تحويل الجاذبية والقصور الذاتي (القوى القصورية) إلى بعضهما بعضا، الأمر الذي يشير إلى أن هناك قوة واحدة لها تعبيراتها الجاذبية والقصورية. ويمكن القول إن مبدأ التكافؤ هذا كان خطوة أولى في اتجاه الوصول إلى نظرية مجالية في الجاذبية تطيع مبدأ النسبية العامة. وجاءت الخطوة الثانية عام 1908 عندما توصل هيرمن منكفسكي إلى مفهوم الزمكان. وفي بادئ الأمر لم يتحمس آينشتاين لهذا المفهوم، لكنه سرعان ما أدرك ضرورته. وعندما طبق مبدأ التكافؤ على الزمكان أو فضاء منكفسكي الرباعي، وجد أن مبدأ التكافؤ يشير إلى أن الجاذبية تحول هندسة الزمكان من هندسة شبه إقليدية إلى هندسة لاإقليدية. فأدرك حينها أنه لا يستطيع أن يتقدم إلى الأمام في سعيه الجديّ إلى بناء نظرية مجالية في الجاذبية، إلا إذا اخضع الزمكان إلى هندسة ريمان اللاإقيلدية. فانكب على دراستها وعلى دراسة ما يسمى الهندسة التفاضلية، من أجل التقدم في هذا المسار، وساعده في ذلك صديقه مارسيل غروسمنMarcel Grossmann، الذي كان خبيرا رياضيا في هذا الحقل. وقد استعان بمبدأ النسبية العامة ومبدأ التكافؤ وبقانون نيوتن في الجاذبية وقوانين نيوتن في الحركة وبالمفهومات الريمانية في بناء نظرية مجالية في الجاذبية، تفسر جميع الظاهرات التي سبق أن فسرتها نظرية نيوتن، وتتخطى نظرية نيوتن في الدقة وفي التنبؤ بظاهرات جديدة. واتضح من تحليله أن نظرية نيوتن في الجاذبية تشكل تقريبا لنظريته الجديدة.

وجوهر نظرية آينشتاين في الجاذبية هي معادلته المجالية التي لا تتغير إذا انتقلنا من مرجع إسناد إلى آخر. وتنص على أن الخصائص الهندسية في نقطة زمكانية تساوي كثافة الطاقة والمادة والضغط في هذه النقطة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مبادئ نظرية النسبية العامة:

اولا- مبدأ النسبية العامة الذي ينص على أن قوانين الطبيعة الأساسية لا تتغير بالنسبة إلى جميع مراجع الإسناد، سواء أكانت قصورية أم متسارعة. وهذا على العكس تماما مما كان سائدا في ميكانيكا نيوتن. إذ افترضت مكانا مطلقا أو أثيرا مطلقا يعد بمثابة مرجع مطلق لجميع الأجسام والأجرام والحركات. فقوانين الطبيعة لا يمكن أن تكون صحيحة وبسيطة وذات معنىً فيزيائي إلا بالنسبة للمكان أو الأثير المطلق. والنسبية العامة ترفض الإقرار بوجود مثل هذا المكان أو الأثير المطلق بوصفه مرجع إسناد متميزا، وإنما ترى أن جميع مراجع الإسناد هي مراجع مكافئة لبعضها بعضا حركيا، ومن حيث صلاحيتها مراجع إسناد للمشاهدة والقياس. فجميع مراجع الإسناد متكافئة في التعبير عن قوانين الطبيعة. وفي عام 1887 حاول مايكلسون ومورلي الأمريكيان قياس حركة الأرض بالنسبة إلى المكان المطلق (الأثير)، إلا إنهما لم يجدا أثرا لمثل هذه الحركة مطلقا[1]. و وفقا لهذا المبدأ يجب على قوانين الطبيعة، سواء أكانت ميكانيكية أم حرارية أم ضوئية أم كهرمغناطيسية، أن تحافظ على شكلها وبنائها الداخلي مهما كان مرجع الإسناد الذي يتم منه القياس . ولضمان ثبات شكل قوانين الطبيعة هذه، استعان آينشتاين بجبر التنسورات لصوغ هذه القوانين مهما كان مرجع الإسناد الذي تتم منه المشاهدة والقياس" فمعادلات نظرية النسبية العامة تنطبق على جميع مجموعات الإسناد أيا كانت حالتها من الحركة"[2]. فليس هناك إطار يمكن أن ننظر عبر إلى الكون، ويكون متفوقا على أي إطار آخر. هذا ما تعنيه كلمة نسبية[3].

ثانيا المتصل الزمكاني: ينص هذا المبدأ على أن المكان والزمان يشكلان وحدة هندسية واحدة. فالأبعاد المكانية والزمانية لا تتغير أو تتبدل كل على حدا، عند الانتقال من مرجع إسناد قصوري إلى آخر." إن الزمان ليس منفصلا ولا مستقلا على نحو تام عن المكان، ولكنه ينضم معه ليشكلا شيئا يسمى المكان-الزمان"[4]. فالزمان إذاً بعد هندسي ينتمي إلى النظام الهندسي عينه الذي تنتمي اليه الأبعاد المكانية الثلاثة. وبإضافة البعد الزماني إلى الأبعاد المكانية الثلاثة نحصل على متصل رباعي الأبعاد[5]. ويقول آينشتاين في هذا الصدد " إن دنيا الظواهر الطبيعية، ويسميها منكفسكي باختصار (العالم)، طبيعي أن تكون رباعية الأبعاد بالمعنى الزماني- المكاني لأنها تتكون من

---

[1] مشرفة بك، علي (1945)، **النظرية النسبية الخاصة**، القاهرة: مطبعة لجنة التأليف والترجمة والنشر، ط1، ص 22-23.
[2] آينشاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، مرجع سابق، ص69.
[3] ساغان، كارل (1993)، **الكون**، ترجمة نافع أيوب، الكويت: سلسلة عالم المعرفة، ط1، ص158.
[4] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجز في الزمن**، مرجع سابق، ص32.
[5] الجابري، صلاح (2006)، **فلسفة العلم: بحوث متقدمة في فلسفة الفيزياء والعقلانية والتزامن والعقل والدماغ**، بيروت: الانتشار العربي، ط1، ص34.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

حوادث فردية يعين كلا منها أربعة أعداد هي ثلاثة إحداثيات مكانية (س ص ع) وإحداثي زماني (ز)"[1].

ثالثا- إن المتصل الزمكاني الذي تحدث فيه ظواهر وأحداث الطبيعة هو متصل غير إقليدي. فالمتصل الزمكاني لا يطيع الهندسة المستوية المألوفة التي وضعها الرياضي الاغريقي إقليدس، وإنما يطيع الهندسة الريمانية التي تبلورت على يدي الرياضي الألماني برنهارت ريمان في منتصف القرن التاسع عشر[2]. فالهندسة الإقليدية منقوصة في النسبية العامة ؛ لأنها تنطبق على الأسطح المستوية، في حين أن الفضاء في النسبية العامة متحدب، ومن ثم يحتاج إلى هندسة أخرى تعبر عنه.

رابعا- إن الذي يحدد الخصائص الهندسية في نقطة زمكانية هو كثافة الكتلة والطاقة والضغط . والعلاقة بين هذه الخصائص وهذه الكثافة هي قانون آينشتاين في الجاذبية. ويعبر عن هذا القانون ما يسمى معادلات آينشتاين المجالية[3].

خامسا- تعد الجاذبية تعبيرا عن الخصائص الهندسية للمتصل الزمكاني، وهي درجة إنحناء هذا المتصل الرباعي في نقطة ما[4]. "فالجاذبية عند آينشتاين ليست قوة بل هي إنحناء زمكاني" [5]. من ثم يمكن القول إن الزمكان الريماني هو في الواقع مجال مادي، وهذه فكرة ثورية للغاية. ونقول أيضا إن المجال الجاذبي هو هو المتصل الزمكاني الريماني. وعليه فقد حول آينشتاين المكان والزمان إلى مجال مادي يوصف بلغة الهندسة الريمانية. "إذ إن الزمكان يمارس تأثيرا على الأجسام، والأجسام تمارس تأثيرا على الزمكان"[6].

سادسا- تنص نظرية النسبية العامة على أن القوى التي تنتج عن تسارع الأجسام وقوى الجاذبية تنتمي إلى المصدر ذاته. إذ يمكن وصف هذه القوى جميعا بدلالة مجال واحد (مبدأ التكافؤ بين الكتلة القصورية وبين الكتلة الجاذبية[7]). ويمكن التعبير عن ذلك بالقول إن النسبية العامة توحد ما بين القصور الذاتي والجاذبية وتعدهما مجالا واحدا موحدا.

سابعا- إن الخصائص الهندسية للزمكان في نقطة زمكانية تحدد الكيفية التي يتحرك فيها جسيم أو موجة. من ثم فإن الجسيمات تتبع مسارات محددة بهندسة الزمكان. وكما عبر عنها بعض الفيزيائين، فإن المادة تقول للزمكان كيف ينحني والزمكان المنحني يقول للمادة كيف تتحرك " فليست الخواص

[1] آينشتاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، مرجع سابق، ط15، ص52.
[2] عبدالفتاح، سعيدي (2008)، **مفهوم الزمن بين برغسون وآينشتاين**، الجزائر: جامعة الاخوة منتوري، ط1، ص137.
[3] Ryder, Lewis (2009), **Introduction to General Relativity** ,Cambridge University, press, 1Ed, Pp 140-141.
[4] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجز للزمن**، مرجع سابق، ص37.
[5] مقادسي، متى (2002)، **نظرة في تطور فلسفة الفيزياء**، بغداد: دار الحكمة، ط1، ص55.
[6] مطلب، محمد (1977)، **فلسفة الفيزياء**، بغداد: منشورات وزارة الإعلام، ط1، 108.
[7] محمد، بدوي (2011)، **فلسفة العلوم الطبيعية**، الأردن: دار المسيرة، ط1، ص227.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الهندسية للزمكان تبعا لنظرية النسبية العامة مستقلة عن المادة، بل إن المادة هي التي تحدد هذه الخواص"[1].

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

[1] آينشتاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، مرجع سابق، ص106.

نتائج نظرية النسبية العامة:

إن معادلات آينشتاين المجالية في النسبية العامة هي معادلات تفاضلية غير خطية. لذلك فهناك صعوبة كبيرة جدا في إيجاد حلول رياضية لهذه المعادلات. ولم يثبت حتى الآن ما إذا كان هناك حلول عامة لهذه المعادلات. وما زالت هذه الصعوبات تعترض سبيل الباحثين حتى بعد مرور أكثر من مائة عام على صوغ هذه النظرية. ومن جهة أخرى فإن التأويل الفيزيائي لما نتوصل إليه من حلول رياضية ليس جاهزا، وإنما يحتاج إلى جهد علمي كبير لكي نتوصل إلى تأويلات مقنعة لهذه الحلول. ويمكن القول إن نظرية النسبية العامة اليوم أكثر راهنية وأكبر مغزى مما كان عليه الحال في النصف الأول من القرن العشرين. ومع ذلك فقد أجتازت نظرية النسبية العامة جميع الاختبارات التجريبية والمشاهدات الفلكية بنجاح كبير، وبدقة غير مسبوقة في العلم. ويمكن القول إنها أدق نظرية علمية في التاريخ. هناك بالطبع من يقول إن نظرية المجال الكوانتمي فاقتها دقة، لكن هناك جدالا غير محسوم في هذا الأمر.

ويمكن أن نجمل أهم النتائج لنظرية النسبية العامة في النقاط الآتية:

أولا: لوحظ في القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين أن مدار كوكب عطارد يدور حول نفسه ببطء بزاوية صغيرة كل قرن من الزمان[1]. ولم تستطع نظرية نيوتن في الجاذبية أن تفسر هذه الزواية الصغيرة. لكن آينشتاين استطاع أن يفسرها بدقة كبيرة في سياق وضعه وتطبيقه لنظرية النسبية العامة. وكان ذلك ربما أول نتيجة إيجابية لنظرية النسبية العامة.

ثانيا: تنبأ آينشتاين في نظرية النسبية العامة بأن الأشعة الضوئية تنحرف بزاويا معينة عند المرور قرب سطوح الأجسام ذات الكتلة العالية كالشمس مثلا[2]. وقد وضح آينشتاين هذه النتيجة بعبارته الآتية: " تنتشر أشعة الضوء بوجه عام في خطوط منحنية في المجال الجاذبي"[3]، وبالفعل تم التحقق بدقة من هذا التنبؤ عام 1919 على يدي بعثتين بريطانيتين بقيادة الفلكي البريطاني المشهور آرثر إدنجتونArthur Eddington .

---

[1] غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، مرجع سابق، ص146.
[2] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجز في الزمن**، مرجع سابق، ص40.
[3] آينشتاين، البرت (1953)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، مرجع سابق، ص71.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ثالثا: تنبأت نظرية آينشتاين أن الأشعة الضوئية المنبثقة من سطح نجم تنزاح صوب اللون الاحمر بفعل تأثير الجاذبية. وقد تم التحقق من ذلك في عدد من التجارب الدقيقة[1].

رابعا: من النتائج المذهلة لنظرية النسبية العامة أن الزمن يبطئ كلما زادت شدة المجال الجاذبي. وقد تم التحقق تجريبيا أيضا من هذه النتيجة المذهلة في أكثر من تجربة. والحق أن نظام (GPS)المستعمل في تحديد مواقع المركبات ومساراتها المركبات يعتمد على هذه النتيجة الدقيقة.

خامسا: تتنبأ نظرية النسبية العامة بوجود ما يسمى الثقوب السوداء. وينتج الثقب الأسود عن انهيار مادة نجم أو عدة نجوم انهيارا تاما، بحيث تختفي المادة كليا في نقطة منفردة، تاركة وراءها نطاق من المجال الجاذبي الشديد. وتبلغ شدته حدّ أن يعجز الضوء المنبثق فيها من الخروج منها، ضمن غشاء معين يسمى أفق الحدث. وقد وجد الحل الرياضي للثقب الأسود العالم الألماني كارل شفارتزشيلد عام 1916، بعد صدور نظرية النسبية العامة ببضعة أشهر. لكن أحدا لم يستطع أن يفسر هذا الحل ويؤوله بصورة مقنعة، إلا بعد مرور حوالي نصف قرن. وبدأت تتبلر نظرية الثقوب السوداء ارتكازا إلى هذا الحل في ستينيات القرن الماضي. وسرعان ما بدأت تبرز الدلائل الفلكية الكثيرة على وجود الثقوب السوداء المتنوعة. ويمكن القول إن هذه النتيجة تعد من أكبر انتصارات نظرية النسبية العامة. ولنفصل قليلا في طبيعة هذا الإنجاز.

نشر آينشتاين ورقته في النسبية العامة في نهايات 1915. وبعد صدور معادلات آينشتاين المجالية ببضعة أشهر، توصل الرياضي الألماني كارل شفارتزشيلد Karl Scwarzschild إلى أول حل دقيق لهذه المعادلات[2] اللاخطية المعقدة لنظام فيزيائي بسيط معين. وبعد ذلك بفترة وجيزة توفي شفارتزشيلد نتيجة ظروف الحرب العالمية الأولى (حيث كان يقاتل على الجبهة الروسية)، فلم يستطع أن يكمل عمله صوب توضيح المعنى الفيزيائي لحله المشهور. وظل هذا الحل لفترة طويلة غامضا وضبابيا من حيث المعنى الفيزيائي، ونفر منه كبار علماء ذلك العصر، وفي مقدمتهم آينشتاين نفسه وإدنجتون. وحاول أولئك العلماء أن يتغلبوا على الإشكالات الكبيرة، التي أثارها حل شفارتزشيلد، وفي مقدمة ذلك النقط المنفردة singularits ، التي برزت في كل ركن من أركان هذا الحل. وبصورة خاصة فقد كان هناك نقطة منفردة في قلب النظام النجمي الذي عالجه شفارتزشيلد. ولكن أيضا كان هناك غموض كبير بصدد ما سمي لاحقا أفق الأحداث [3]، وهو الغشاء الذي يحيط بالنظام النجمي المعني . إذ بدا وكأن هذا الغشاء هو مجموعة لانهائية من النقط المنفردة. وقد أثار

[1] آينشتاين، البرت (1987)، **معنى النسبية**، ترجمة: علي فرح، الأردن: مكتبة المنار، ط6، ص121.
[2] Hooft, Gerard't (2010), **Introduction to General Relativity**, Institute for Theoretical Physics, Netherlands, 1Ed, Pp49-50.
[3] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجزللزمن**، مرجع سابق، ص85.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

هذا السلوك الغريب لهذا الحل قلق اولئك العلماء والرياضيين، وأدى إلى اقتناعهم بأن هذا الحل ليس له معنىً فيزيائي في المنطقة الواقعة ضمن هذا الغشاء، وأن المعنى الفيزيائي لا يوجد إلا في المنطقة خارج هذا الغشاء. وقد تبنى هذا التصور بقوة البرت آينشتاين، واشتغل عليه جديا من أجل تبريره. ومال علماء النصف الأول من القرن العشرين إلى إهمال حل شفارتزشيلد بالنظر إلى الصعوبات الجمة التي جابهته. ولكن كان هناك تطورات بدأت في نهايات عشرينيات القرن العشرين كانت تدفع في اتجاه أخذ هذا الحل على محمل الجد. وبصورة خاصة فقد طبق العالم الهندي شندراسيكار Chandra sekharنظرية الكوانتم، التي كانت في بدايتها أنذاك على النجوم. وتبين لتشندراسيكار أن النجم ينهار بفعل جاذبيته. لكن الذي يحول دون اكتمال انهياره في المرحلة الأولى من عمره هو التفاعلات النووية في باطنه. ولكن عندما ينفد الوقود النووي يستأنف النجم انهياره. لكن شندراسيكار وجد أن الضغط الإلكتروني يحول دون استمرار هذا الانهيار، إذا كانت كتلة النجم أقل من حد معين "وهو يبلغ 4 .1 قدر كتلة الشمس"[1]. ولكن ماذا لو كانت كتلة النجم أكبر من هذا الحد؟. كان إيحاء شندراسيخار أن النجم سيستمر في الانهيار حتى تختفي المادة في نقطة منفردة، الأمر الذي يعزز فكرة حل شفارتزشيلد. لذلك فقد رفض إدنجتون نظرية تشندراسيكار ووبخه بشدة في أحد المؤتمرات، الأمر الذي حدا بشندراسيكارإلى طرح نظريته جانبا، والتركيز على مسائل فيزيائية أخرى. ولم تتبين أهمية نظريته إلا في الستينيات من القرن العشرين.، فحاز على جائزة نوبل تقديرا لهذه العمل المنبوذ[2]. وفي الأربعينيات من القرن العشرين، عاد العالم الامريكي اوبنهايمر Oppenheimer وفريقه لتطبيق نظرية النسبية العامة والفيزياء النووية على النجوم، الأمر الذي قادهم إلى فكرة الانهيار المستمر للنجم، واختفاء مادته في نقطة منفردة، لكن عمل اوبنهايمر أهمل لاحقا من جانبه وجانب غيره.

لكن في نهاية الخمسينيات عبر الرياضيان كروسكال Kruskal وجكيرز Szekeresعن حل شفارتزشيلد بنظام إحداثيات جديد، وقادهما ذلك إلى رؤية حل شفارتزشيلد على حقيقته الفيزيائية. إذ تبين أن أفق الأحداث ليس مجموعة من النقط المنفردة، وإنما هو غشاء حقيقي له معنىً فيزيائي واضح، حيث إنه يفصل ما بين داخل النجم المنهار الذي لا يفلت منه شيء، ولا حتى الضوء، وما بين خارج أفق الأحداث المتصل بصورة عادية مع باقي الكون. فبرز بوضوح مفهوم الثقب الأسود، وتبين أن النجوم إذا فاقت كتلتها كتلة معينة، تنهار عندما ينفد وقودها النووي حتى تختفي في نقطة منفردة، مبقية على مجال جاذبي قوي ضمن الغشاء الذي نسميه أفق الحدث. فإذا سقط جسم أو طاقة متخطيا أفق الأحداث نحو الداخل، ظل يتحرك حتى يسقط نهائيا في النقطة المنفردة. فلا يمكن لشيء

[1] الوصفي، رؤوف (1979)، **الكون والثقوب السوداء**، الكويت: عالم المعرفة، ط1، ص 177.
[2] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجز للزمن**، مرجع سابق، ص79 -80 -81.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ولا حتى الضوء أن ينفذ إلى الخارج [1]، وذلك بفعل المجال الجاذبي الشديد جدا داخل أفق الاحداث[2]. وقد سمى العالم الأمريكي جون ويلر John Wheeler هذه الحالة الثقب الأسود. وينطبق عليها تماما حل شفارتزشيلد. ومعنى ذلك أن حل شفارتزشيلد لم يجد تأويله الفيزيائي المعقول إلا بعد مضي حوالي نصف قرن على اكتشاف حل شفارتزشيلد. ولقد رسخ العالمان البريطانيان روجر بنروز Roger Penrose وستفين هوكنج Stephen Hawking هذا المفهوم ، وأكدا على ضرورته الرياضية في نظرية النسبية العامة. فلا مفر منه في هذه النظرية. فالنجم ينهار بفعل جاذبيته، لكن الذي يحول بينه وبين الانهيار الكلي هو أولا: التفاعلات النووية في باطن النجم في المرحلة الأولى، ثانيا الضغط الإلكتروني في المرحلة الثانية، وثالثا الضغط النيوتروني في المرحلة الثالثة، ورابعا الانهيار التام إلى ثقب أسود في المرحلة الرابعة. بعد ذلك توالت المشاهدات الفلكية التي دعمت مفهوم الثقب الأسود، حيث لا تفسر إلا بدلالة هذا المفهوم، وأكتشف أن غالبية المجرات تحتوي على ثقوب سوداء ضخمة في باطنها، الأمر الذي عزز نظرية النسبية العامة وهذه النتيجة المثيرة.

وفي عام 2016 تم الكشف عن أمواج الجاذبية، التي سبق أن تنبأت بها نظرية النسبية العامة المنبعثة عن صدام ثقبين أسودين كبيرين. وكل هذه الدلائل تعزز من هذا المفهوم بالرغم من غرابئيته. وقد وجدت حلول في ستينيات القرن العشرين لثقوب سوداء مشحونة كهربائيا، وأخرى تدور حول نفسها.

سادسا: تنبأ آينشتاين عام 1916 بوجود أمواج للجاذبية (أي بوجود تغيرات دورية في الزمكان، تنتقل بسرعة الضوء). وبالنظر إلى صعوبة الكشف عن هذه الأمواج، لم يتمكن العلم من الكشف عنها إلا بعد مرور مائة عام على اكتشافها. وقد حاز العلماء الذين قادوا حملة اكتشافها على جائزة نوبل لعام 2016.

[1]. هوكنج، ستيفن (1995) **الثقوب السوداء**، ترجمة: مصطفى فهمي، الأمارات العربية المتحدة: المجمع الثقافي، ط1، ص93

[2] كاكو، ميشيو (2017)، **كون أينشتاين: كيف غيرت رؤى آينشتاين من إدراكنا للزمان والمكان**، القاهرة: مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة، ط6، ص 114.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

عقب نشر آينشتاين ورقته الرئيسية في النسبية العامة في آواخر عام 1915، بدأ يبحث عن حلول ولو تقريبية لمعادلاته المجالية. فتوصل عام 1916 إلى حل تقريبي يفيد بوجود أمواج جاذبية أو زمكانية شبيهة بالأمواج الكهرمغناطيسية، لكنه لم يأبه كثيرا لهذا الحل فترك هذه الورقة جانبا، وانكب على تطوير نظريته في مسارات أخرى. ولم تحدث هذه الورقة ضجة في حينها، لأنها أوحت بأن اختبارها عمليا أمر صعب جدا، وربما يكون مستحيلا لفترة طويلة من الزمان. وهذه الأمواج هي عبارة عن انضغاطات وتمدادت دورية في الزمكان نفسه. وقد عاد آينشتاين إلى هذه المشكلة عام 1936، حيث حاول أن يجد حلولا أدق لمعادلاته التفاضلية، وأقنع نفسه بأن هذه الأمواج ليست موجودة في ظل الحلول الأدق، وأرسل هذه الورقة إلى المجلة الأمريكية الشهيرة Physical Reviewمن أجل نشرها، لكن المجلة رفضت نشرها لاعتقادها بأن هذه الورقة احتوت على أخطاء كبيرة. وقد أثار هذا الرفض غضب آينشتاين وقرر عدم النشر في هذه المجلة العالمية من ذلك التاريخ فصاعدا. وما لبث آينشتاين أن اكتشف أنه ارتكب بعض الأخطاء في هذه الورقة، وعاد عام 1938 إلى التأكيد على صحة فكرة وجود أمواج جاذبية في ورقة أخرى نشرها في مجلة أمريكية أخرى. وقد أخذت هذه البحوث لاحقا على محمل الجد وبدأ العلماء منذ مطلع سبعينيات القرن العشرين يبحثون بجدية عن هذه الأمواج، برغم إدراكهم الصعوبة البالغة للكشف عنها. وفي العقد الأخير من القرن العشرين، شعر العلماء بأن التطور التكنولوجي الهائل، الذي حصل في ربع القرن الأخير نتيجة ثورة المعلومات والاتصالات، تتيح لهم المجال للكشف عن هذه الأمواج الضعيفة. فأجريت تجربة دقيقة جدا أخذت تسمى LIGO في الولايات المتحدة الأمريكية. واستطاعت هذه التجربة المذهلة بدقتها أن تكشف عن وجود هذه الأمواج. وتبين للعلماء أن الأمواج التي تم الكشف عنها ناتجة عن تصادم ثقبين أسودين كبيرين، يبعدان أكثر من مليار سنة ضوئية عن الأرض. وقد فتحت هذه التجربة شهية العلماء على مزيد من مثل هذه التجارب، آملين أن يتمكنوا في المستقبل من الكشف عن أمواج الجاذبية الصادرة عن تفاعلات الثانية الأولى من عمر الكون. فلو تم اكتشاف هذه الأمواج لانفتحت أمام علم الكون آفاق جديدة لمعرفة حالة الكون عند الانفجار الكوني الكبير.

سابعا: يمكن القول إن أكبر تطبيق لنظرية النسبية العامة كان في مجال علم الكون. بل يمكن القول أيضا إن نظرية النسبية العامة هي التي أسست لعلم الكون الحديث. وقد نشر آينشتاين عام 1917 ورقة بحثية طبق فيها نظريته على الكون بوصفه كلا. وكان انموذجه الكوني سكونيا، أي لا تتغير علائقه المكانية في الزمان. واضطر إلى إدخال عنصر جديد في معادلاته أسماه الثابت الكوني، من أجل أن يحصل على أنموذجاً سكوني. بيد أن الفيزيائي الروسي فريدمان Friedmann والعالم البلجيكي ليميتر بينا أن الحلول الطبيعية لمعادلات آينشتاين المجالية مطبقة على الكون هي نماذج

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

يكون المكان فيها متمددا أو متقلصا. وبالذات استطاع ليميترأن يتنبأ بأن أجزاء مادة الكون (ما اخذ يعرف لاحقا بالمجرات) تتباعد عن بعضها بعضا، وفق قانون معين أخذ يعرف لاحقا بقانون هابل Edwin Hubble. ذلك أن الفيزيائي الأمريكي هابل هو الذي أكد هذا القانون تجريبيا لاحقا. وشكلت هذه النتيجة الخطيرة أساسا لما يعرف اليوم بنظرية الانفجار العظيم. وتنص هذه النظرية على أن مادة الكون المرئي ومكانه وزمانه كانت كلها محشورة في نقطة لامتناهية الصغر قبل حوالي 13,8 مليار سنة. وفكرة النظرية أن هذه النقطة لم تكن مستقرة فانفجرت، وانبثقت منها المادة والمكان والزمان، وأخذت بالتمدد حتى وصلت إلى ما وصلت إليه اليوم.

وتقول هذه النظرية إن درجة حرارة الكون كانت كبيرة جدا في الدقائق الأولى من عمر الكون، وكانت كثافته عالية جدا، ومع تمدد المكان، انخفضت درجة الحرارة والكثافة إلى حد قريب من الصفر اليوم. وهناك دلائل مهمة جدا ودقيقة على صحة هذه النظرية. وقد بين ستيفن هوكنج وروجر بنروز في نهاية ستينيات القرن الماضي أن نظرية النسبية العامة تقود حتما إلى النقط المنفردة في الزمكان. فلا مهرب من هذه النقط المنفردة. فهل يعني ذلك أن النظرية تشير إلى حدود انطباقها، وأنها تشير إلى عجزها في معالجة البدايات والنهايات؟ هل يدل ذلك على أن نظرية النسبية العامة نظرية ناقصة بمعنى من المعاني وأنها تومئ إلى ضرورات بناء نظرية أشمل وأعمق بالتمازج مع نظرية الكوانتم؟

وفي الخمسينيات من القرن العشرين، كان هناك منافس قوي لنظرية الانفجار العظيم، وهي نظرية الحالة المستقرة، التي صاغها فريد هويل Fred Hoyle وتوماس جولد Thomas Gold وهيرمان بوندي Hermann Bondi . ونصت هذه النظرية على أن الكون على النطاق الكبير لا يتغير برغم تمدده. ونادت بفكرة أن هذا التمدد يؤدي إلى خلق مادة جديدة تعوض في النهاية عن تلك المجرات، التي تختفي وراء أفق الأحداث وأفق الرؤية. لذلك يظل الكون كما هو في بنيته العامة منذ الأزل وإلى الأبد. وقد تنبأت النظريتان كلتاهما بجملة من التنبوءات، وجاءت القياسات الدقيقة في نهاية خمسينيات القرن العشرين وبداية ستينيات القرن العشرين لكي تدحض نهائيا نظرية الحالة المستقرة وتدعم نظرية الانفجار العظيم. ومن النجاحات الكبيرة لنظرية الانفجار العظيم أنها تنبأت بالنسب الصحيحة للعناصر في الكون (75 % هيدروجين، 25 %هيليوم، وأقل من 1% العناصر الأخرى)، وتنبأت أيضا بوجود إشعاع درجة حرارته حوالي 3 درجات مطلقة، يأتي بصورة متجانسة من كل اتجاه على كل نقطة في الكون، وهو ما أخذ يعرف بإشعاع الخلفية الكوني. وبالفعل فقد توصل العالمان الأمريكيان بنزياس Penzias وويلسون Wilson عام 1965 إلى الكشف عن

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

هذا الإشعاع[1]، الذي أخذت دراسته تشكل المصدر الرئيسي لمعلوماتنا عن الكون. وشكل هذا الاكتشاف الضربة القاضية لنظرية الحالة المستقرة والرافعة الرئيسية للانفجار العظيم. لكن نظرية الانفجار العظيم ظلت تعاني من صعوبات منطقية جمة حتى هذه اللحظة. فبالإضافة إلى فكرة النقطة المنفردة التي انبثق منها الكون، وهي فكرة ضبابية مثقلة بالتناقضات المنطقية، فهناك انتظامات مذهلة في النظرية تبدو اعتباطية ومن الصعب تفسيرها. وللتغلب على بعض هذه الصعوبات، برزت عام 1980 ما يسمى نظرية التضخم الكوني، التي نصت على أن حالة الكون في البرهة الأولى كانت جاذبيتها نافرة وليست جاذبة، الأمر الذي نفخ الكون بصورة مذهلة في برهة قصيرة جدا. واستطاعت هذه النظرية أن تحل كثيرا من صعوبات الانفجار الكبير، وإن صاحبتها هي نفسها صعوبات جديدة، ما زال الجدال دائرا بصددها. لذلك نستطيع أن نقول إن نظرية الانفجار العظيم صحيحة ضمن حدود، لكنها غير مكتملة وغير ناجزة وما زالت المحاولات تتوالى من أجل إتمامها وحل تناقضاتها واختبارها بدقة متزايدة.

[1] هوكنج، ستيفن (1995)، **تاريخ موجز للزمن**، مرجع سابق، ص 107.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

السببية في نظرية النسبية العامة وإشكالاتها:

كما رأينا، فإن النسبية الخاصة عارضت مفهوم التفاعل عن بعد اللحظي، لكنها لم تلغه لأنها لم تكن قادرة على بناء بديل لنظرية نيوتن في الجاذبية، أما النسبية العامة فقد أفلحت في إلغاء مفهوم التفاعل عن بعد اللحظي، وفي إقامة نظرية مجالية في الجاذبية أدق وأشمل من نظرية نيوتن في الجاذبية. من ثم عززت النسبية العامة المقولة بأن الطاقة لا يمكن أن تنتقل من مكان إلى آخر بسرعة أكبر من سرعة الضوء. فحتى التأثير الجاذبي وأمواج الجاذبية لا يمكن أن تنتقل من مكان إلى آخر بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وهكذا فإن النسبية العامة بوأت فكرة المجال المتصل مركز الصدارة. وهكذا فقد أكتمل في النسبية العامة المبدأ التقليدي للسببية، والقاضي بالتجاور المكاني والتعاقب الزمني للسبب والنتيجة. والتزمت النسبية العامة بما ذهبت إليه النسبية الخاصة من تقسيم الفترات الزمكانية إلى فترات سببية وفترات غير سببية، فالعلاقة تكون سببية بين حدثين زمكانين، إذا كانت الفترة الزمكانية بين الحدثين تتيح المجال لانتقال الطاقة بينهما بسرعة لا تفوق سرعة الضوء. لكن الأحداث الزمكانية التي تفصل بينها فترات غير سببية لا يمكن أن تكون العلاقة بينها سببية، لانعدام إمكانية انتقال الطاقة بينها. فالسببية هنا مرتبطة ارتباطا ضروريا بمفهوم الطاقة وانتقالها. فانتقال الطاقة بين كيانين ماديين هو أساس العلاقة السببية بينهما. فالطاقة هي السبب وأثرها هو النتيجة. هذا على صعيد النظرية في شمولها. أما نتائج النسبية العامة، فقد أثارت بعضها إشكالات في ما يتعلق بالسببية. ففي الثقوب السوداء مثلا تختفي المادة تماما في النقطة المنفردة التي تكون في مركز الثقب الاسود، ولا تترك وراءها سوى مجال جاذبي قوي. فأين ذهبت هذه المادة واين اختفت؟ هل إنتقلت إلى كون آخر؟ فوفق النسبية العامة لا يمكن استرداد هذه المادة إلى الكون الذي جاءت منه. إنها تختفي في هذه النقطة المنفردة وتبقى مختفية. ألا يناقض ذلك مبدأ السببية التقليدي؟ أضف إلى ذلك أنه في داخل الثقب الأسود ينقلب الزمان مكانا والمكان زمانا، على الأقل من الناحية الرياضية. وهذا يقلب مفهوم السببية رأسا على عقب. إذ يبدو أن السببية تنهار تماما في داخل الثقب الاسود. وهناك شغل بحثي كبير على هذا الأمر حيث إنه يثير جدالا واسعا في الأوساط العلمية والفلسفية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

كذلك، وعلى الصعيد الكوني، فإن نظرية النسبية العامة تقود إلى نتيجة حتمية مؤداها أن الكون نشأ من نقطة منفردة قبل حوالي 13ثمانية بالعشرة مليار سنة. وقد بين الفيزيائيان البريطانيان روجر بنروز وستفين هوكنج في نهاية ستينيات القرن الماضي أنه لا مهرب من النقطة المنفردة التي انبثق منها الكون برمته. فالمادة والمكان والزمان انبثقت جميعها من هذه النقطة المنفردة. وعلينا أن نتذكر أن هذه النقطة تتضمن كثافة لانهائية من الطاقة وانحناء زمكانيا لانهائيا. وهنا نجد أنفسنا إزاء مشكلة في المعنى. إذ كيف نحدد فيزيائيا معنى هذه النقطة المنفردة؟ هل هناك معنىً فيزيائي لها؟ إنها ضرورة رياضية، ولكن إلى أي مدى تتضمن معنى فيزيائيا؟ هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن معادلات آينشتاين المجالية تنهار عند هذه النقطة، لأن مفهوم الزمكان نفسه ينهار عند هذه النقطة، وكأن هذه النقطة التي توصلنا إليها نظرية النسبية العامة تقع خارج إطار النظرية نفسها، وكأن النظرية تقودنا إلى حدود انطباقها. فهل هناك من معنىً للتساؤل من أين جاءت هذه النقطة؟ فهذا السؤال يفيد السببية. ما هي الأسباب التي دعت إلى وجود هذه النقطة وانفجارها؟ فهذه النقطة هي بداية كل شيء. فمن أين جاءت الأسباب؟ ثم إن السبب يفترض وجود مكان وزمان (التجاور المكاني والتعاقب الزماني). لكن المكان والزمان نفسيهما ينبثقان أصلا من هذه النقطة. فكيف إذاً يمكن أن نطبق مبدأ السببية على هذه النقطة، التي ينعدم فيها المكان والزمان؟ فمن الواضح إذاً أن النسبية العامة تصل إلى مأزق في هذا المفهوم بالذات، ومن الواضح أن الخروج من هذا المأزق لا يتم إلا بتجاوز نظرية النسبية العامة. وهذا ما سعى إليه العلماء في نصف القرن الأخير، وما زالوا يبحثون عن بدائل مقنعة. وفي الواقع، قادهم ذلك إلى محاولة بناء إطار نظري يندمج فيه النقيضان، النسبية العامة ونظرية الكوانتم، علّ هذا الإطار يقدم خروجا من هذا المأزق. ولكن، حتى الآن، ما زال الأمر مفتوحا وجداليا إلى آخر حد. ويمكن القول إن هذه الإشكالية هي اليوم الإشكالية الرئيسية في الفيزياء النظرية.

من جهة ثالثة، فقد أبرزت نظرية النسبية العامة السؤال حول امكانية السفر عبر الزمن. فهناك حلول لمعادلات آينشتاين المجالية، تفيد بإمكانية السفر إلى الماضي وإلى المستقبل. لكن هذا يخلق إشكالا كبيرا على مستوى مفهوم السببية. ولا نريد الخوض هنا في تفصيلات هذه الحلول، لكن هناك شغلا بحثيا كبيرا ما زال قائما في الفيزياء المعاصرة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الرابع

السببية في نظرية الكوانتم وإشكالاتها

نشوء نظرية الكوانتم:

ترتبط نظرية الكوانتم بظاهرة تشير إلى أننا إذا ما قمنا بتسخين قطعة من المادة، فإنها تبدأ بالتوهج. وفي حال قمنا برفع درجة الحرارة فإن قطعة المادة هذه يحمر لونها، ثم يزداد اتقادها فتبيض، ولا يعتمد اللون كثيرا على سطح المادة. وفي الأجسام السوداء، يتوقف اللون على درجات الحرارة. والإشعاع المنبعث من مثل هذه الأجسام السوداء تحت تأثير درجات الحرارة المرتفعة، يعتبر مادة مناسبة للبحث الفيزيائي[1]. وقد حاول اللورد رايلي Lord Rayleigh وجيمس جينز James Jeans في نهاية القرن التاسع عشر أن يصفا هذه الظاهرة باستخدام قوانين الإشعاع والحرارة المعروفة، إلا أنهما فشلا في هذه المهمة. إذ أن تطبيق القوانين المعروفة لم يفض إلى نتائج معقولة.

وفي عام 1895، حاول ماكس بلانك Max Planck أن يحول المشكلة من الإشعاع إلى الذرة المشعة، آملا في تبسيط تفسير الحقائق التجريبية. وفي عام 1900، قام كل من كرلباوم K urlbaum وروبنز Rubens في برلين بإجراء قياسات جديدة دقيقة جدا لطيف الإشعاع الكهرمغناطيسي. وقد حاول بلانك تفسير هذه النتائج عن طريق صيغ رياضية بسيطة استنتجها من العلاقة العامة بين الحرارة والإشعاع. وقد أفلح بلانك في تخمين معادلة رياضية تربط بين ما بين كثافة طاقة الإشعاع وتردده وتبين له نجاح هذه المعادلة في تفسير النتائج التجريبية المعروفة. لكنه لم يكتف بذلك، وإنما حاول اشتقاق هذه المعادلة من تطبيق ما يسمى الميكانيكا الإحصائية على الشحنات الذرية المتذبذبة التي تبث إشعاع الجسم الأسود. فوجد أنه لا يستطيع الوصول إلى معادلته تلك إلا بافتراض أن طاقة امتصاص الإشعاع وبثه غير متصلة، تتكون من كمات تتناسب طاقة كل منها مع تردد الأمواج الممتصة والمنبعثة. وهذا الافتراض كان فكرة جديدة تماما، ولم يتمكن بلانك من تكييفها داخل هيكل الفيزياء الكلاسيكية.

[1] هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفيزياء والفلسفة**، ترجمة: أحمد مستجير، القاهرة: المكتبة الأكاديمية، ط1، ص 21.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وفي عام 1905، عمم آينشتاين هذه النتيجة على الأمواج الكهرمغناطيسية برمتها وفي جميع حالاتها، بمعنى أنه لم يقصر الكمات على عملتي الامتصاص والانبعاث فقط، وإنما عد الأمواج الكهرمغناطيسية فيضا من الكمات، وهي ما أخذ يسمى الفوتونات لاحقا. وتساوي طاقة كل فوتون تردده الموجي مضروبا في ثابت كوني أخذ يدعى ثابت بلانك. وقد طبق آينشتاين هذه الفرضية على المفعول الكهرضوئي بنجاح منقطع النظير أكسبه بعد عقدين ونصف جائزة نوبل في الفيزياء. وكانت هذه الفكرة ثورية للغاية، حيث أن بلانك اكتفى بالقول إن امتصاص الضوء وبثه يتم كميا، أي بصورة متقطعة. لكنه لم يجرؤ على القول إن المجال الكهرمغناطيسي مكون من كمات أو جسيمات كمية، وهذا ما جرأ آينشتاين على قوله في ورقته المنشورة عام 1905. إن هذا الوصف للضوء يختلف عن الصورة الموجية التقليدية. وتنبع ثورية فرضية أينشتياين هذه من كونها تناقض نظرية ماكسويل تماما، حيث إن هذه النظرية تنظر إلى انتقال الطاقة في المجال الكهرمغناطيسي على أنه انتقال موجي متصل، وليس انتقالا للجسيمات. فبعد بحث آينشتاين المذكور أصبحنا ننظر إلى الضوء على أنه أمواج كهرمغناطيسية وجسيمات كمية في آن واحد، أي أنه كيان متناقض في ذاته. وهذا التناقض أصبح يعرف بإشكالية ازدواجية الموجة – الجسيم[1]. فالإلكترون والفوتون وأي جسيم آخر، يتصرف تارة كموجة و تارة أخرى كجسيم[2].

وبالنسبة لآينشتاين، فقد عرف أنه لا يمكن تفسير الظواهر الضوئية المعروفة كالحيود والتداخل إلا على أساس الصورة الموجية. ولم يناقش آينشتاين التعارض التام بين الصورة الموجية وفكرة كمات الضوء، ولم يحاول أيضا أن يزيل التناقض الداخلي لهذا التفسير. لقد ترك حل هذا التناقض للمستقبل المنظور .

وفي تلك الأثناء، جرت بحوث مهمة كانت تهدف إلى سبر أغوار الذرة من أجل الكشف عن تركيبها الداخلي. وقد توجت هذه المسيرة باكتشاف رذرفورد Rutherford تركيب الذرات، وبصورة خاصة اكتشافه أن الشحنة الموجبة تكون مكثفة في حيز صغير جدا من الذرة وأن الإلكترونات السالبة الشحنة تتحرك حول هذه النواة الموجبة في مدارات واسعة جدا بالنسبة إليها. وإنموذج رذرفورد لم يكن في مقدوره أن يفسر ثبات الذرة ولا أطياف الإشعاعات المنبعثة منها. لقد توصل رذرفورد إلى إنموذجه الكوكبي للذرة ارتكازا إلى التجارب، بمعنى أن التجارب فرضت هذا الأنموذج فرضا على الجماعة العلمية. فالتجربة كانت حاسمة في هذه الحالة. لكن هذا الأنموذج كان يتعارض تماما مع نظرية ماكسويل الكهرمغناطيسية الكلاسيكية، حيث اقتضت هذه النظرية أن

---

[1] هوكنج، ستيفن (1995)، تاريخ موجز في الزمن، مرجع سابق. 78

[2] Davies. P.C.W. Brown.j.R (1986), **The ghost in the Atom**. Cambridge University Press, 2Ed, p11.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لا تكون الذرة مستقرة. فوفق هذه النظرية، فإن الإلكترونات التي تتحرك بتسارع حول أنوية الذرات ينبغي أن تبث أمواج كهرمغناطيسية، ومن ثم ينبغي أن تقترب من النواة حتى تسقط فيها في أقل من ثانية. وهذا يعني أن أنموذج رذرفورد الذي تحتمه التجربة لا يمكن أن يقوم على أساس نظرية ماكسويل في الكهرمغناطيسية. ومن جهة أخرى، فإن أنموذج رذرفورد مقرونا بنظرية ماكسويل لم يستطع أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين، أي الألوان والأضواء التي تبثها ذرة الهيدروجين. وهنا انبرى العالم الفيزيائي الدنماركي نيلز بور Niels Bohr في عام 1913 لإنقاذ إنموذج رذرفورد وحل هذه الإشكالات. إذ افترض أن فرضية الكوانتم لبلانك تنطبق على الذرة. وبصورة خاصة فقد افترض أن الزخم الزاوي مكمىً. وقاده ذلك إلى فكرة مستويات الطاقة. فطاقة الإلكترون لا تكون متصلة ولا تقبل أي قيمة، وإنما تكون لها قيم معينة، ولا تقبل أي قيم بين هذه القيم المعينة. من ثم فإن الإلكترون لا يبث طاقة في حركته، إذا كان في مستوى طاقة محدد. فلا يبث الطاقة إلا إذا قفز من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر. فإذا قفز من مستوى طاقة إلى مستوى أدنى، فإنه يبث كما من الطاقة يساوي الفرق بين المستويين، ويكون تردد هذه الطاقة المنبعثة مساويا لهذا الفرق بين المستويين مقسوما على ثابت بلانك. ولا يقفز إلى مستوى أعلى من الطاقة إلا إذا امتص من خارجه طاقة تساوي الفرق بين المستويين. وبهذه الطريقة استطاع بور أن يفسر استقرار ذرة الهيدروجين، وأيضا استطاع أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين[1] والذي كان معروفا تجريبيا. وبرغم التناقض بين مضمون الحركة الكلاسيكي والفرضية الكمية، إلا أن أنموذج بور لاقى استحسان في الأوساط العلمية بالنظر إلى نجاحاته الباهرة. وهنا ينبغي أن نذكر أن أنموذج بور فشل عندما طبق على الذرات الأكثر تعقيدا من ذرة الهيدروجين. ولكي يطبقه على هذه الذرات الأخرى اضطر بور إلى الاستعانة بالنظرية الكلاسيكية، وإلى إيجاد طرق للتوفيق بين أنموذجه والنظرية الكلاسيكية. وفي عام 1916 طبق الفيزيائي الألماني سومرفيلد Sommerfeld نظرية النسبية الخاصة على أنموذج بور وحصل على نتائج أكثر دقة من أنموذج بور، لكن التناقضات الكامنة في نظرية بور ظلت تؤرقه وتلامذته لعقد كامل من الزمان.

في أثناء محاولة بور تعميم نظريته في الذرة على ذرة الهيدروجين توصل إلى فكرة أن قوانين الكوانتم تنطبق على المستوى الذري، وأنها تقترب من القوانين الكلاسيكية كلما ابتعدنا عن هذا النطاق إلى النطاق الجاهري. وقد سمي هذا المبدأ مبدأ التناظر. فكان التحدي الأكبر الذي جابه الفيزيائيين آنذاك هو كيف يمكن أن نخمن قوانين الكوانتم المجهولة من القوانين الكلاسيكية، بوصف

[1] Lenzen, Victor (1954), **Causality in Natural Science**, Charles C Thomas Publisher, USA, 213Ed. p83.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

القوانين الكلاسيكية حدودا جاهرية للقوانين الكوانتمية؟ وهذا ما ركزعليه كل من نيلز بور و هايزنبرغ Heisenberg .

استرشد هايزنبرغ بالنهج الذي سبق أن اتبعه آينشتاين في الوصول إلى نظرية النسبية الخاصة عام 1905، واسترشد بالفلسفة الوضعية في تناوله لهذا التحدي، ولفت نظره أن الإلكترون يكون له مسار محدد على المستوى الجاهري، لكن ليس هناك أي دليل على أنه يحافظ على مساره المحدد على المستوى الذري. فانبرى للبحث عن تمثيلات جديدة للكميات الفيزيائية تعطينا الترددات الضوئية وشدتها، وتقترب من المسارات المحددة عندما نقترب من المستوى الجاهري. وكما أن آيشتاين وجد عام 1905 أنه لا يحتاج إلى افتراض كيانات مادية متخيلة كالأثير والمكان المطلق في تناوله للظاهرات الحركية والكهرمغناطيسية، وجد هايزنبرغ أنه ليس بحاجة إلى افتراض وجود مدارات محددة متخيله للإلكترونات في الذرة، وإنما ركز على المعطى التجريبي لدينا، فنحن لا نرى الذرات ولا مدارات الإلكترونات، لكننا نرى أطيافها الضوئية من حيث التردد والشدة. فانبرى إلى تركيب تمثيلات الكميات الفيزيائية الأساسية بدلالة هذه الترددات والشدة، مسترشدا في ذلك بمبدأ التناظر. وهذا يعني أنه أبقى على المفهومات الأساسية كالموضع والزخم الخطي والزخم الزاوي والطاقة، لكنه بحث عن تمثيلات رياضية جديدة لها. فاوصله هذا التحليل إلى تمثيل هذه الكميات الاساسية بدلالة ما يسمى في الرياضيات المصفوفات. وتوصل إلى معادلة أساسية على المستوى الذري، تشير إلى أن هذه المصفوفات ترتبط بعضها ببعضها الآخر. وطبق هذه المعادلة على الحركة التوافقية البسيطة. فتوصل إلى نتائج مشجعة في هذا المضمار. وبعد ذلك بأشهر طبق الفيزيائي النمساوي باولي Pauli معادلة هايزنبرغ على ذرة الأيدروجين. فاستنبط بعبقريته الفائقة الطيف التجريبي لذرة الهيدروجين. ومن جهة أخرى فقد اتبع في الوقت ذاته تقريبا خط بحثي آخر، أفضى إلى ما أخذ يسمى الميكانيكا الموجية. وقاد هذا الخط إلى النتائج ذاتها. وقد انبثق هذا الخط من أطروحة الفيزيائي الفرنسي لوي دي بروي Loui De Broglie، والتي وضعها عام 1924. وفي هذه الأطروحة عمم دي بروي أزدواجية الموجة – الجسيم من الضوء إلى الجسيمات المادية برمتها. وقاده ذلك إلى ربط أمواج بكل جسيم مادي، وتوصل إلى العلاقات الرياضية بين الكميات الجسيمية ونظريتها الموجية. وقد أثبتت التجارب لاحقا صحة هذه العلاقات، واستطاع بهذه الطريقة أن يفسر مكمن الفرضيات الكوانتمية في أنموذج بور. وفي عام 1926 انطلق الفيزيائي النمساوي إرفن شرودنجر Erwin Schrodinger من فرضية دي بروي. فعقد مقارنة بين معادلات الضوء الجسيمية والموجية وبين معادلات الميكانيكا الكلاسيكية. فقاده ذلك إلى معادلة موجية للإلكترون،

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وأستعمل هذه المعادلة ببراعة رياضية فائقة لكي يستنبط طيف ذرة الهيدروجين وجميع خصائص هذه الذرة. وبدأ تطبيق هذه المعادلة بنجاح كبيرة على المجالات الفيزيائية والكيميائية المتنوعة.

وسرعان ما توصل شرودنجر إلى حقيقة أن معادلته هي تعبير جديد عن قانون حفظ الطاقة. وفي هذا التعبير تُمثل الكميات الفيزيائية الرئيسية بإجراءات تفاضلية وليس بدالات جبرية. كما توصل إلى أن معادلته الموجية تكافئ رياضيا تماما معادلة هايزنبرغ المصفوفية، لكنه لم يستطع بمفرده أن يتوصل إلى تحديد المعنى الفيزيائي للدالة الموجية ولمعادلته الموجية أو لمعادلة هايزنبرغ الكوانتمية. فبرز التحدي الأكبر لدى فيزيائيي ذلك العصر المتمثل في إيجاد تأويل مناسب لهذه المعادلات الغريبة. وتم فتح كبير في ذلك الشأن على يدي نيلز بور وهايزنبرغ.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

تأويل كوبنهاجن:

كان التحدي الأكبر آنذاك إيجاد المعنى الفيزيائي للدالة الموجية ولمعادلات هاينزبرغ وشردونجر. وقد قدم شرودنجر اقتراحا في ذلك الشأن لكنه لم يصمد طويلا أمام الهجمات النقدية الحارقة لنيلز بور تحديدا. وفي هذا السياق توصل نيلز بور إلى مبدأ القى الضوء إلى حد كبير على ثورية النظرية الجديدة ومعناها في آن واحد، وهو ما يسمى مبدأ التتام. إذ بين بوهر أننا في حاجة إلى مفهومات تستثني بعضها بعضا في وصف الظاهرات الذرية. فالمفهومات الكلاسيكية المنسجمة معا لا تكفي لوصف هذه الظاهرات، وإنما علينا أيضا أن نستعين بنقائضها الكلاسيكية. فمفهوم الجسيم ضروري لوصف حركة الإلكترون لكنه لا يكفي. علينا أن نستعين أيضا بمفهوم الموجة مع أنه يستثني مفهوم الجسيم. فهذان المفهومان هما وجهان ضروريان للواقع ذاته. إنهما متناقضان، لكنهما متتامان[1]. والتجربة هي التي تختار الصورة التي يتبدى بها الإلكترون. وفي عام 1927 توصل هايزنبرغ إلى مبدأ آخر هو مبدأ اللايقين[2]، الذي بين فيه أننا نحدد بعض الكميات الفيزيائية على حساب كميات أخرى. فلا نستطيع أن نحدد موضع الجسيم وسرعته في آن واحد بالدقة المطلوبة[3]، وإنما يتحدد كل منهما على حساب الآخر. وعليه لا يوجد على المستوى الذري معنىً للمسارات المحددة للجسيمات. فإذا حددنا الموضع كليا كانت السرعة غير محددة كليا، والعكس صحيح أيضا. ولا يعود هذا المبدأ إلى دقة أجهزة القياس، وإنما هو قانون من قوانين الطبيعة، بمعنى أنه أنطولوجي الطابع. فلا شأن له بمعرفتنا، وإنما بطبيعة الأشياء. ويعد هذا المبدأ من أعمق وأغرب المبادئ الفيزيائية على الاطلاق، ويناقض منطق الفيزياء الكلاسيكية في الصميم، ونتائجه المهمة لاحصر لها. وتوجت هذه المسيرة التأويلية بالتأويل الذي قدمه الفيزيائي الألماني ماكس بورن للدالة الموجية، حيث عد مربعها تعبيرا عن احتمال وجود الإلكترون في هذا الموضع أو ذاك، أي أنه أعطى معنى احتماليا لمعادلات هايزنبرغ وشرودنجر. ويمكن القول إن مبدأ التتام ومبدأ اللايقين والتأويل الاحتمالي شكلت أساس ما أخذ يسمى تأويل كوبنهاجن لميكانيك الكوانتم، وهو التأويل الذي ما زال معتمدا حتى هذه اللحظة في كثير من الأوساط الفيزيائية. وحتى عام 1952 كان هذا التوحيد هو الأوحد في هذا المجال. لكن الصورة اختلفت مذاك. وبرزت عدة تأويلات مهمة، لكن تأويل كوبنهاجن ما زال التأويل المفضل لدى عدد كبير من الفيزيائيين. بعد ذلك جرت محاولات لتطبيق ميكانيكا الكم على الذرات والجزيئات والإلكترونات و أنوية الذرات (الفيزياء النووية)

---

[1] هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفيزياء والفلسفة**، مرجع سابق، ص15.

[2] بوش، فريدريك (1990)، **أساسيات علم الفيزياء**، ترجمة سعيد الجزيري، محمد سليمان، القاهرة: الدار الدولية للنشر والتوزيع، ط5، ص757.

[3] هوكنج، ستيفن (1995)، مرجع سابق، ص82.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وحالات المادة، وبخاصة الحالة الصلبة، وعلى النجوم. وحققت النظرية إنجازات كبيرة على هذه الصعيد. ومن جهة أخرى جرت محاولات ناجحة لدمج نظرية النسبية الخاصة بنظرية الكوانتم. وكانت في مقدمتها المحاولة التي أجراها الفيزيائي البريطاني بول ديراك Paul Dirac. وطبقت نظرية الكوانتم بعد ذلك على المجال الكهرمغناطيسي ولاحقا على المجالات النووية، وأصابت قدرا كبيرا من النجاح. وكانت من ثمرات ذلك نشوء ما يسمى الإلكتروديناميكا الكوانتمية، والديناميكا اللونية (القوية) ونظريات المجال الموحد والأنموذج الميعاري للجسيمات الأولية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مبادئ ميكانيكا الكوانتم:

إن المفهوم الأساسي في الفيزياء الكلاسيكية هو مفهوم مسار الجسيم المحدد في المكان والزمان. فنحن نحدد الحالة الحركية للجسيم في لحظة زمنية ما بدلالة موضعه وسرعته. ويعبر المسار عن التغير الزمني في هذه الحالة الحركية، لكننا لا نستطيع أن نعبر عن الحالة الحركية للجسيم في ميكانيكا الكوانتم بالطريقة ذاتها. ذلك أن ميكانيكا الكوانتم تطيع مبدأ اللايقين لهايزنبرغ، والذي ينص على أن الطبيعة تمنع تحديد موضع الجسيم وسرعته في آن واحد. فتحديد الموضع يتم على حساب تحديد السرعة والعكس بالعكس. كذلك فإن تحديد الطاقة يتم على حساب تحديد الزمن والعكس بالعكس. وهذا يعني أننا لا نستطيع أن نعبر عن الحالة الحركية للجسيم بدلالة موضعه وسرعته في آن واحد ، ومن ثم لا نستطيع أن نحدد مسار الجسيم في الميكانيكا الكوانتمية. فلا معنىً لمسار جسيم على الصعيد الذري. كيف نحدد إذاً الحالة الحركية للجسيمات في ميكانيكا الكوانتم؟ هناك أكثر من طريقة، لكننا سنركز هنا على طريقة شرودنجر. ففي الميكانيكا الموجية التي وضعها شرودنجر، يُعبر عن الحالة الحركية للجسيم بدلالة الدالة الموجية المصاحبة للجسيم. وهذه الدالة تطيع معادلة موجية محكمة نسميها معادلة شرودنجر " التي تصف ديناميكا الإلكترونات وغيرها من الجسيمات دون الذرية"[1] ووفق هذه المعادلة، فإن تحديد التفاعل بين الجسيم وبيئته يؤدي إلى تحديد الدالة الموجية تماما في المكان والزمان. فالدالة الموجية إذاً تطيع مبدأ السببية ومبدأ التحديدية certainty تماما. ولكن السؤال المهم هنا هو ما المعنى الفيزيائي للدالة الموجية وما علاقة الدالة الموجية بالخصائص الحركية للجسيم؟ هناك تأويلات متعددة للدالة الموجية لكن أشهرها وأكثرها استعمالا من جانب الفيزيائيين هو التأويل الاحتمالي الذي وضعه ماكس بورن عقب بناء ميكانيكا الكوانتم. وينص تأويل بورن على أن مربع الدالة الموجية في حيز صغير يساوي احتمال وجود الجسيم في هذا الحيز. وعليه، فإن ميكانيكا الكوانتم هي ميكانيكا احتمالية في جوهرها. وينص هذا التأويل أيضا على أن الجسيم يكون موجودا بالقوة في كل مكان باحتمالات متنوعة، ولا يكون موجودا بالفعل في أي منها. ويتغير حقل هذه الاحتمالات مع الزمن بصورة محكمة وفق معادلة شرودنجر. لكننا نعلم تجريبيا أننا نستطيع أن نحدد موضع الجسيم إذا شئنا بتجربة معينة. كيف نوفق إذاً بين الصورة الاحتمالية للموجة المصاحبة للجسيم وبين التحديد التجريبي لخصائص الجسيم. هنا ينص هذا التأويل على أن المشاهدة أو التجربة تحول الوجود بالقوة للجسيم في كل مكان إلى وجود بالفعل للجسيم في نقطة معينة. ويؤكد هايزنبرج هذا بعبارته التالية: "وعلى هذا فإن الانتقال من الممكن إلى الواقعي

---

[1] غصيب، هشام (2018)، **العقل والمنهج في الثورة العلمية الكبرى**، المانيا: المركز الدولي للتربية الابتكارية، ط1، ص43.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

يحدث من خلال فعل المشاهدة" [1]. وهذا يعني أن الدالة الموجية تنهار لحظيا بفعل المشاهدة إلى نقطة معينة. "فما يحدث يتوقف على الطريقة التي نشاهده بها، أو على حقيقة أننا نشاهده"[2]، وكأن ميكانيكا الكوانتم ترد الاعتبار إلى مفهوم التأثير اللحظي عن بعد، وهو جانب مربك من هذا التأويل الاحتمالي.

[1] هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفلسفة والفيزياء**، مرجع سابق، ص 38.
[2] هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفلسفة والفيزياء**، مرجع سابق، ص35.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

نتائج ميكانيكا الكوانتم:

استطاعت ميكانيكا الكوانتم أن تفسر كل الظاهرات المتعلقة بحالات المادة المتنوعة. إذ استطاعت أن تفسر خصائص الذرات والجزيئات وتفاعلاتها، ومن ثم فتحت المجال أمام تفسير التفاعلات الكيميائية جميعا وخصائص الحالة الصلبة والحالة الغازية والحالة السائلة. ولم تترك شاردة أو واردة في هذا المجال إلا واستطاعت أن تستوعبها، فهي لا غنىً عنها في الفيزياء الذرية والكيمياء. واستطاعت أيضا أن تفسر الظاهرات النووية، وأن تفسر التفاعلات النووية جميعا. ويمكن القول إن من نتائجها العلمية الرئيسية مجال الإلكترونيات والطاقة النووية وتكنولوجيا الليزر. ويكفيها أهمية أنها استطاعت أن تفسر الجدول الدروي للعناصر وأطياف المواد والعناصر بصورة دقيقة وافية. وعندما دمجت مع نظرية النسبية الخاصة ونظرية المجال الكلاسيكية، استطاعت أن تفسر قوى الطبيعة قاطبة باستثناء الجاذبية، وأن تستوعب الجسيمات الأولية على تنوعها، وأن تتنبأ بجسيمات جديدة وبضد المادة[1] (Antimatter). ومازالت تحقق الإنجازات على صعيد الفيزياء والكيمياء وحتى البيولوجيا وعلم الحاسوب. ويمكن القول إنها من الناحية التجريبية أنجح نظرية في التاريخ برغم الصعوبات التي تجابهها على صعيد التأويل والمعنى وبرغم غرابة افكارها.

[1] هوكنج، سيتفن (1995)، **تاريخ موجز للزمن**، مرجع سابق، ص68.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

السببية في ميكانيكا الكوانتم وإشكالاتها:

هناك العديد من التأويلات لميكانيكا الكوانتم تعطي معاني مختلفة للدالة الموجية، والعلاقة بين الدالة الموجية والجسيم المعني. لكننا سنركز في هذه الأطروحة على التأويل الأصلي لميكانيكا الكوانتم، والذي ما زال مفضلا لدى عدد كبير من الفيزيائيين، وهو تأويل كوبنهاجن، الذي أقامه نيلز بوهر وفيرنر هايزنبرج وماكس بورن وآخرون. ولتبسيط شرح السببية في هذا التأويل، فلنتدبر جسيم مجهري واحد يتفاعل مع بيئته بطريقة ما. فإذا عرفنا قانون التفاعل بين الجسيم وبيئته وعرفنا الشروط الحدودية للدالة الموجية، تمكنا بمعادلة شردونجر أن نحدد الدالة الموجية تماما في المكان والزمان. وعليه فإن الدالة الموجية تطيع تماما مبدأ السببية ومبدأ التحديدية. ولكن كيف ننتقل من الدالة الموجية إلى حركة الجسيم نفسه مثلا إلى موضعه وسرعته وغيرهما؟ فالدالة الموجية تشير إلى احتمال أن يكون الجسيم في هذا الموضع أو ذاك. " فهي لا تعطي، في لحظة معينة مكان الإلكترون وسرعته لأن هذه المسألة عديمة المعنى في الفيزياء الكمومية. بل إنها تعطي احتمال العثور على الإلكترون في مكان معين"[1]. ووفق تأويل كوبنهاجن فإن الجسيم المجهري يكون موجودا بالقوة في كل مكان باحتمالات متنوعة. لكننا في العالم الإمبريقي نعرف أن الجسيم المجهري في النهاية يمكن تحديد موضعه وسرعته وخصائصه الحركية الأخرى. فكيف ننتقل من عالم الاحتمالات والوجود بالقوة إلى الوجود بالفعل والعالم الإمبريقي الفعلي. هنا ينص تأويل كوبنهاجن على أن المشاهدة تنقل الجسيم من الوجود بالقوة إلى الوجود بالفعل. ونعني بالمشاهدة التنظيم الجاهري التجريبي لقياس خصائص الجسيم المجهري. فالمشاهدة تبدو وكأنها (تنتقي) موضعا معينا من بين كل هذه المواضع الممكنة. لكن ذلك دفع تأويل كوبنهاجن إلى افتراض أن المشاهدة تؤدي إلى الانهيار اللحظي للموجة الاحتمالية (للدالة الموجية). وكأن الموجة تعرف لحظيا أن مشاهدة قد تمت في موضع معين، فتنهار تباعا بصورة لحظية من كل أرجاء المكان. وهذه مثلبة كبيرة في تأويل كوبنهاجن. فنحن نعود هنا إلى فكرة التأثير اللحظي عن بعد، وهو المفهوم الذي أرق بال نيوتن طويلا، وتعارك معه آينشتاين، وتغلب عليه في نظرية النسبية. فها هو يعود بزخم عبر الثورة الكوانتمية. فالدالة الموجية تطيع السببية والتحديدية على صعيد الوجود بالقوة، لكنها تناقضهما على صعيد الوجود بالفعل. فإذا ما تم تحديد دالة الاحتمال في نظرية الكوانتم من المشاهدة عند البداية، أمكننا باستخدام قوانين نظرية الكوانتم أن نحسب دالة الاحتمال في أي وقت لاحق، ومن ثم يمكننا أن نحدد احتمال أن يتخذ قياس معين قيمة بذاتها. فمن الممكن على سبيل

[1]آينشتاين، انفلد (1986)، **تطور الأفكار الفيزيائية**، مرجع سابق، ص 301.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المثال أن نتنبأ باحتمال العثور على الإلكترون في وقت لاحق في نقطة معينة في الغرفة السحابية. ويلزم أن نؤكد هنا على أن دالة الاحتمال لا تمثل في ذاتها سياقا من الوقائع يجري في سياق الزمن. إنها تمثل نزعة للوقائع ولمعرفتنا بالوقائع[1]، وقد وضح هايزنبرغ هذا في الجملة الآتية: " ودالة الاحتمال لا تصف واقعة بذاتها، وإنما مجموعة كاملة من الوقائع المحتملة على الأقل أثناء عملية المشاهدة"[2].

ومن جهة أخرى فإن المشاهدة تؤدي إلى الوجود بالفعل للجسيم المجهري، لكنها لا تحدد مسبقا موضعه. فموضعه الفعلي غير محدد إطلاقا. فلا نعرف مسبقا أين سيكون؛ لأنه موجود بالقوة في كل مكان. أما الذي يتحدد بدقة فهو توزيع الجسيمات المجهرية على المواضع المختلفة، إذا كان هناك حشد كبير منها، أو إذا كررنا المشاهدة مرات عديدة. فالتحديد هنا إحصائي وليس على الصعيد الفردي. وبمعنى آخر فإن السببية في العالم الإمبريقي الفعلي ليست سببية كلاسيكية، وإنما سببية احتمالية. فهي فاعلة على الصعيد الإحصائي فقط. لكنها تفشل تماما على الصعيد الفردي. وهذا أيضا جانب مثير للقلق في تأويل كوبنهاجن. فالسبب هنا، وهو تفاعل الجسيم مع بيئته (محيطه) لا يعطي نتائج محددة، وإنما إحتمالات فقط. وصحيح أن المشاهدة تحول الاحتمال إلى يقين، لكن نتيجتها تكون عشوائية تماما، بمعنى أن النتيجة تكون غير محددة تماما. ويعطي تأويل كوبنهاجن الانطباع بأن العلاقة بين السبب والنتيجة على الصعيد الفردي علاقة رخوة تكاد أن تكون معدومة. فالسبب لا يؤدي إلى نتيجة محددة، والنتيجة لا سبب لها. ولولا الجانب الإحصائي الاحتمالي لانتفت السببية تماما في ميكانيكا الكوانتم. فنظرية الكوانتم تعطي تنبؤات احتمالية فقط.

ومن جهة ثالثة، هناك ما يسمى ظاهرة التشابك (Entanglement). وفحوى هذه الظاهرة أنه إذا كان هناك جسيمان مجهريان مترابطان معا ومتفاعلان عن قرب، ثم افترقا عن بعضهما بعضا، بحيث أخذت تفصل بينهما مسافات شاسعة، يظل الجسيمان مترابطين معا على الوجه الآتي: إذا أجرينا تجربة لتحديد خاصية من خصائص الجسيم الأول، تتحدد لحظيا الخاصية المقابلة في الجسيم الثاني، وكأن هناك تأثير لحظي بينهما. فإذا تبين مثلا أن غزل (spin) الأولى في الأتجاه العلوي فإن غزل الثانية يتحدد في الأتجاه المعاكس لحظيا، قبل أن نجري تجربة عليه لتحديد هذه الخاصية. ويبدو وكأن هناك تأثير لحظي بين الجسيمات المتشابكة معا، بصرف النظر عن المسافات الشاسعة التي تفصلهما عن بعضهما بعضا. وهذا كما نعلم يناقض نسبية آينشتاين، ويرد الاعتبار إلى مفهوم التأثير اللحظي عن بعد. وهنا ينبغي أن نذكر أن التحليلات البارعة لهذه الظاهرة، التي قام بها في

[1] هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفلسفة والفيزياء**، مرجع سابق، ص 32.
[2] هازيبرغ، فيرنر (1993)، **الفلسفة والفيزياء**، مرجع سابق، ص 37.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ستينيات القرن الماضي الفيزيائي البريطاني جون بل John Bell ، والتجارب التي اجريت في الثمانينيات على أساس هذه التحليلات، أكدت حقيقة هذه الظاهرة وقدمت دعما لتصورات نيلز بوهر حول الظاهرات الكوانتمية. وينبغي الإشارة هنا إلى أن هذه الإشكالات ما زالت محل نظر ونقاش، وأنها تأخذ أشكالا متنوعة في التأويلات المتنوعة للميكانيكا الكوانتمية. لكن المجال لايتيح لنا هنا التوسع في شرح المعالجات المختلفة لهذه الإشكالات وهذه التأويلات. ويمكن القيام ببحوث فلسفية في هذا المجال في دراسات قادمة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الخاتمة

بدأنا في هذه الأطروحة بتحديد معنى الفيزياء الحديثة ومداها الزمني، ثم قسمناها إلى مراحل رئيسية اتسمت كل منها ببناء نظري طاغٍ معين. وهذه المراحل هي: ميكانيكا نيوتن، الفيزياء الكلاسيكية، نظرية النسبية الخاصة، نظرية النسبية العامة، نظرية الكوانتم. وقد غطى الفصل الأول ميكانيكا نيوتن والفيزياء الكلاسيكية، ثم خصصنا فصل لكل من النظريات الأخرى المذكورة. ونظمنا كل فصل على النحو الآتي: تكلمنا عن نشوء النظرية المعنية ثم حددنا مبادءها، ثم انتقلنا إلى إنجازاتها الرئيسية. وأنهينا الفصل بتحديد مفهوم السببية في النظرية المعنية وإشكالاتها.

وفي الفصل الأول فصلنا معالم الأساس الفكري لميكانيكا نيوتن، والبناء المفاهيمي الأساسي فيها. وبينا أن هذه الميكانيكا ترتكز إلى المكان المطلق والزمان المطلق والذرات المادية، التي تتحرك في مسارات محددة في المكان والزمان، وإلى مفهوم التفاعل الجاذبي اللحظي عن بعد. وبينا أن السببية النيوتنية تفترض مفهوم التفاعل المادي بين الجسيمات المادية، وأن هذا التفاعل إما أن يكون تصادما بين الجسيمات، وإما أن يكون تفاعلا جاذبيا لحظيا عن بعد. أما التفاعل الأول فهو يطيع فكرة التجاور المكاني والتعاقب الزمني كما في السببية التقليدية، في حين أن التفاعل الثاني لا يطيع هذا التجاور ولا ذلك التعاقب. وهذا مصدر إشكال في ميكانيكا نيوتن أرق بال نيوتن ولم يستطع أن يجد له حلا.

بعد ذلك انتقلنا إلى الفيزياء الكلاسيكية وبيّنّا كيف تم بناؤها على قاعدة ميكانيكا نيوتن. وقد أضافت الفيزياء الكلاسيكية إلى ميكانيكا نيوتن مفهوم الأثير، الذي يملأ المكان بأكمله، ومفهوم المجال الكهرمغناطيسي، الذي يملأ المكان أيضا. وبيّنّا أن المجال الكهرمغناطيسي شكل أنموذجا لحل ممكن لمشكلة الجاذبية النيوتنية. إذ إن التفاعل الكهرمغناطيسي ليس لحظيا، وإنما ينتقل بسرعة الضوء من نظامٍ مادي إلى آخر. من ثم فإن هذا التفاعل يطيع التجاور المكاني والتعاقب الزمني في السببية. فالتفاعل ليس بين الجسيمات المشحونة بصورة مباشرة، وإنما هو تفاعل موضعي بين الجسيم والمجال في النقطة المعنية واللحظة الزمنية المعنية. لكن الفيزياء الكلاسيكية لم تستطع أن تجد حلا لإشكالات الجاذبية.

وفي الفصل الثاني عالجنا التطور الكبير، الذي أحدثته في الفيزياء نظرية النسبية الخاصة، والتي أرسى دعائمها البرت آينشتاين عام 1905 . وقد انبثقت هذه النظرية من قلب تناقضات الفيزياء

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الكلاسيكية. و أزالت هذه النظرية مفهوم الأثير ومفهومي المكان المطلق والزمان المطلق، والغت فكرة التزامن المطلق بين الأحداث الكونية. ومن النتائج المهمة لهذه النظرية أنه لا يمكن للطاقة أو المادة (وقد ساوت بينهما) أن تنتقل بأسرع من سرعة الضوء. وقد شكلت هذه النتيجة تحديا لمفهوم التأثير اللحظي عن بعد، لكنها ولدت إشكال جديد للسببية تمثل في اهتزاز مفهوم التعاقب الزمني. إذ أصبح هذا التعاقب نسبيا يعتمد على المشاهد وحالته الحركية. لكن النظرية أوجدت نوعا من الحل لهذا الإشكال، بتقسيم الزمكان إلى علائق تحكمها السببية وعلائق لا تحكمها السببية. وقالت إن العلاقات بين الأحداث يمكن أن تكون سببية، إذا وقعت ضمن مخروط ضوئي معين في الزمكان، وإلا فإن العلاقة لا يمكن أن تكون سببية، ومن ثم فلا إشكال في نسبية التعاقب الزمني.

وفي الفصل الثالث فصلنا معالم البناء الفكري لنظرية النسبية العامة التي أرسى دعائمها آينشتاين عام 1915. وبينا كيف نبعت من التناقض بين نظرية النسبية الخاصة ونظرية نيوتن في الجاذبية وفكرة التسارع المطلق. وبينا كيف حولت هذه النظرية الزمكان المتغير الخصائص الهندسية إلى مجال مادي يتفاعل مع غيره من المجالات، وكيف أكدت هذه النظرية أن هذا المجال هو هو المجال الجاذبي. وقد أزالت هذه النظرية تماما مفهوم التأثير اللحظي عن بعد، وأكدت على أن التفاعل الجاذبي لا يمكن أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء. لكن هذه النظرية خلقت إشكالات جديدة للسببية ما زالت قائمة. ذلك أنها تنبأت بوجود ثقوب سوداء، وكون متمدد ينطلق من الصفر. فوضعت علامات استفهام كبيرة على مفهوم الزمن ومن ثم على مفهوم السببية. فالزمن في داخل الثقب الأسود ينقلب مكانا والمكان ينقلب زمانا. وهذا يثير إشكالات واضحة بالنسبة إلى مفهوم السببية. كذلك فإن النسبية العامة تصل إلى نتيجة مؤداها أن المكان والزمان والمادة لها عمر محدود (13.8 مليار سنة). وتسمى هذه النقطة التي انبثق منها الكون النقطة المنفردة singularity . فهل نستطيع أن نطبق مبدأ السببية على هذه النقطة التي انبثق منها الزمان؟ ومن جهة أخرى فإن النظرية تتيح حلولا تبيح العودة إلى الماضي (حلول غودلKurt Godel). ألا يتناقض ذلك مع مبدأ السببية ؟

وفي الفصل الرابع بينا كيف نشأت نظرية الكوانتم من التناقض ما بين الفيزياء الكلاسيكية والخصائص الذرية وما دون الذرية. وبينا أن هذه النظرية تقبل تأويلات فيزيائية متنوعة. لكننا ركزنا على التأويل الرئيسي فيها، وهو تأويل كوبنهاجن. وهذا التأويل يؤكد على أن نظرية الكوانتم نظرية احتمالية أنطولوجية . وهذا يشير إلى أن الأحداث المادية المنفردة لا يحكمها مبدأ السببية، وإنما ينطبق مبدأ السببية إحصائيا فقط على حشد كبير من الأحداث المادية. وهذا تحدٍ كبير لمبدأ السببية. أضف إلى ذلك أن هذا التأويل أكسب المشاهدة فاعلية أنطولوجية، وليس فقط إبستمولوجية، وكأن مبدأ السببية يظل احتمالا حتى تتم المشاهدة. هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن نظرية

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الكوانتم ردت الاعتبار إلى مفهوم التأثير اللحظي عن بعد عبر ما يسمى التشبيك (Entanglement) بين الجسيمات وعبر الطابع الموجي للمادة. وقد حاولت بعض التأويلات الأخرى أن تتغلب على هذه الإشكالات، لكنها خلقت إشكالاتها الأخرى، التي لا تقل حدة عن إشكالات تأويل كوبنهاجن. ومازالت هذه الإشكالات قائمة برغم مرور حوالي مئة عام على خلق نظرية الكوانتم.

ولم نتطرق في هذه الإطروحة إلى نظرية المجال الكوانتمي وفيزياء الجسيمات الأولية ونظرية الخيوط الفائقة ونظريات الجاذبية الكوانتمية. ويمكن أن نتاولهما في بحث قادم. لكن هذه النظريات تضيف إلى الإشكالات السابقة إشكالات جديدة تتمثل في فكرة أن الزمكان ليس أساسيا، وإنما ينبعث من تفاعل عدد كبير من الكيانات المجهرية التي لانعرف كنهها. ومن ثم، تشير إلى إمكانية أن لا يكون مفهو م السببية أساسيا، وإنما مشتق من مبادئ أكثر جذرية منه. كذلك فإن هذه النظريات لا تكتفي بالزمكان الرباعي الأبعاد، وإنما تتكلم عن زمكان له عشرة أبعاد أو أحد عشر بعدا. ومن الطبيعي أن نتساءل هنا عن أثر هذه التعددية على مبدأ السببية؟ ولا نملك هنا الإجابات عن هذه الأسئلة، وإنما نتركها لأبحاث لاحقة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

قائمة المراجع باللغة العربية

آينشتاين، البرت (1955)، **النسبية النظرية الخاصة والعامة**، ط15، دار نهضة مصر للطبع والنشر، القاهرة، (1953).

آينشتاين، البرت (1955)، إنفلد، ليوبولد (1968) ، **تطور الأفكار الفيزيائية**، ط10، ترجمة ادهم السمان، دمشق: وزارة الثقافة، (1986).

آينشتاين، البرت (1955)، **معنى النسبية**، ط6، ترجمة: علي فرح، مكتبة المنار، الأردن (1987).

آينشتاين، البرت (1955)، **أفكار وأراء**، ط1، ترجمة: رمسيس شحاته، الهيئة المصرية العامة للكتاب، مصر، (1986).

آينشتاين، البرت (1985)، **هكذا ارى العالم**، ط1، ترجمة: أدهم السمان، منشورات دار الثقاقة، سوريا، (1985).

العالم، محمود (2003)، **فلسفة المصادفة**، ط1، مصر: دار المعارف.

أومنيس، رولان (2008)، **فلسفة الكوانتم**، ط 4300، الكويت: عالم المعرفة.

الوصفي، رؤوف (1997)، **الكون والثقوب السوداء**، ط1، عالم المعرفة، الكويت.

الجابري، صلاح (2006)، **فلسفة العلم: بحوث متقدمة في فلسفة الفيزياء والعقلانية والتزامن والعقل والدماغ**، ط1، بيروت: الانتشار العربي.

بدوي، عبدالرحمن (1973)، **الزمان الوجودي**، ط3، لبنان: دار الثقافة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

باليبار، فرانسواز (1993)، **آينشتاين يقرأ غاليلو ونيوتن: المكان والنسبية**، ط1، ترجمة: سامي أدهم، بيروت: المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع.

بنروز، شيموني، كارترايت، هوكنج (2009)، **فيزياء العقل البشري والعالم من منظورين**، ط1، أبو ظبي: كلمات عربية للترجمة والنشر.

جينز، جيمس (1946)، **الكون الغامض**، ط2، ترجمة: عبد الحميد مرسي، علي مشرفة بك، المطبعة الأميرية، القاهرة، (1942).

جينز، جيمس (1998)، **الفلسفة والفيزياء**، ط1، ترجمة: جعفر رجب، مصر: دار المعارف.

سبيلرج، ناثان، أندرسون، بريون (2002)، **سبع أفكار هزت العالم**،ط1، ترجمة: محمد جوهر، الكويت: مؤسسة الكويت للتقدم العلمي.

ساغان، كارل (1993)، **الكون**، ط1، ترجمة نافع أيوب، الكويت: سلسلة عالم المعرفة.

عبدالفتاح، سعيدي (2008)، **مفهوم الزمن بين برغسون واينشتاين**،ط1، الجزائر: جامعة الاخوة منتوري.

غصيب، هشام (1988)، **الطريق إلى النسبية**، ط1، الأردن: الجمعية العلمية الملكية.

غصيب، هشام (1999)، **هل نشأ الكون من العدم**، ط1، بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر.

غصيب، هشام (2017)، **العقل اولا العقل لانهائيا**، ط1، الأردن: مطبوعات الجمعية الفلسفية الأردنية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

غصيب، هشام (2018)، **العقل والمنهج في الثورة العلمية الكبرى**، ط1، المانيا: المركز الدولي للتربية الابتكارية.

كاكو، ميشيو (2013)، **فيزياء المستحيل**، ط4300، الكويت: عالم المعرفة.

كاكو، ميشيو (2016)، **كون اينشتاين**، ط6، مصر: هنداوي للتعليم والثقافة.

مُشرّفة بك، علي (1945)، **النظرية النسبية الخاصة**، ط1، القاهرة: مطبعة لجنة التأليف والترجمة والنشر.

محمد، بدوي (2011)، **فلسفة العلوم الطبيعية**، ط1، الأردن: دار المسيرة.

مرحبا، محمد (1949)، **نظرية النسبية لآلبرت آينشتاين**، ط1، مصر: مطبعة المقتطف والمقطم.

نفادي، السيد (2006)، **السببية في العلم** ، ط1، بيروت: دار الفارابي.

هوكنج، ستيفن (2006)، **تاريخ موجز للزمن**، ط1، ترجمة: مصطفى فهمي، مصر: الهيئة المصرية العامة للكتاب.

هوكنج، ستيفن (1995)، **الثقوب السوداء**، ط1، ترجمة: مصطفى فهمي، الإمارات العربية المتحدة، المجمع الثقافي.

هيوم، ديفيد (2008)، **مبحث في الفاهمة البشرية**، ط1، ترجمة: موسى وهبه، لبنان: دار الفارابي.

هايزنبرغ، فيرنر (1993)، **الفيزياء والفلسفة**، ط1، ترجمة: أحمد مستجير، القاهرة: المكتبة الأكاديمية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وولف، فريد (1994)، **القفزة الكمومية**، ط1: ترجمة أدهم السمان، دمشق: دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

References

Bohm, David (1957), **Causality and Chance in Modern Physics**, Routledge and Kegan Paul and D. Van Nostrand, UK. 1Ed.

Columbia University (2013)**, Lecture Notes on General Relativity** .1Ed.

Dampier, W.C. (1942) **A History of Science and It Relation**, Cambridge University Press, 3Ed.

Davies. P.C.W. Brown.j.R (1986).**The Ghost in the Atom**. Cambridge University Press.2Ed.

Ghassib, Hisham (2018), **Reason and Method in Einstein's Relativity**, Cornell University library, arxiv.org: 1801.06039. Physics.hist-ph. And in: International Studies in the Philisophy of Science (forth coming).

Hume, Dived, (1946), **A Treatise of Human Nature**, L.A. Selby-Bigge, N.A, Oxford. 1Ed

Hooft, Gerard (2010), **Introduction to General Relativity**, Institute for Theoretical Physics, Netherlands, 1Ed.

Lenzen, Victor (1954), **Causality in Natural Science**, Charles C Thomas. Publisher, USA, 213 Ed.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Newton, Isaac (1846), **The Mathematical Principles of Natural Philosophy**, Daniel Edee, Publisher New York, 1Ed

Ryder, Lewis (2009), **Introduction to General Relativity**, Cambridge University Press, Ed1.

Russell, Bertrand (1966)**, Human Knowledge, Its Scope and Limits**, George Allen and Unwin, New South Wales, 5Ed.

Russell, Bertrand (1919), **Mysticism and Logic and Other Essays**, Longmans, Green and Co, New York,3 Ed

Vladimirov, Y. ET. Al (1987). **Space Time**. Crvvitation, Translated by Zilberman, A.Mir, 1 Ed.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

THE PROBLEMS OF CAUSALITY IN MODERN PHYSICS "STUDY IN EPISTEMOLOGY"

BY

Suzan E. Tallouza

Supervisor

Dr. Hisham B. Ghassib

ABSTRACT

This thesis aims at studying the principle of causality and its problems in modern physical theory, starting with Isaac Newton. It considers Newton's theory of motion and gravity the launching pad for the whole of modern physical theory. This study avers that the principle of causality acquires its definite physical meaning from, and is operationally determined by, physical theory itself. That is why this study embarks on studying the conceptual content of modern physical theory in its various stages.

It embarks on philosophically studying the conceptual content of Newtonian mechanics, classical physics, special relativity, general relativity, including the theory of black holes and relativistic cosmology, and quantum theory. It details the genesis, principles and results of each of these theories and deduces the form of the principle of causality defined by each theory and its specific problems, emphasizing these specific problems and their resolutions in subsequent theoretical developments.

This study tends to view causality in its various forms as a necessary condition for the construction of any physical theory, and that causality in physics cannot be understood in isolation from a specific physical theory.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit